

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

FILOZOFSKI FAKULTET

Odsjek za arheologiju

Ivana Lučića 3

Doris Šugar

**POTENCIJALNE PRIMJENE VIRTUALNE I PROŠIRENE STVARNOSTI U
ARHEOLOGIJI**

Diplomski rad

Mentor:

dr. sc. Ina Miloglav, doc.

Zagreb, 2018.

Sadržaj

Sadržaj	2
Pojmovnik.....	4
Popis kratica	5
1. Uvod	6
2. Tehnologija	6
2.1. Virtualna stvarnost	6
2.1.1. Definicija	6
2.1.2. Povijesni pregled razvoja.....	8
2.2. Proširena stvarnost.....	11
2.2.1. Definicija	11
2.2.2. Povijesni pregled razvoja.....	12
2.3. Miješana stvarnost	13
3. Virtualna arheologija i potreba za novim tehnologijama	15
3.1. Standardi arheoloških vizualizacija.....	17
3.2. Problemi digitalnih metoda dokumentacije i virtualnih rekonstrukcija.....	19
4. Primjene virtualne i proširene stvarnosti.....	23
4.1. Virtualna stvarnost i muzeji.....	25
4.2. Proširena stvarnost i prezentacija lokaliteta in situ	28
5. Povijest virtualne stvarnosti u arheologiji	30
5.1. <i>Virtual Ancient Egypt</i> (1993.) i <i>Virtual Pompeii</i> (1996.)	30
5.2. <i>Grobnica Sen-nedjem</i> (1998.)	32
5.3. <i>Troia VR</i> (2001.)	34
5.4. <i>ARCHAVE</i> (2001.)	36
5.5. <i>Etruscanning 3D</i> (2011. -2013.)	38
5.6. <i>Marine VR Cave</i> (2015.)	40
5.7. <i>Ullastret 3D</i> (2017.)	42
5.8. <i>Lithodomos VR</i> (2017.)	43
5.9. Izložba AQUAE IASAE u Arheološkom muzeju u Zagrebu (2015.-2016.).....	44
6. Povijest proširene stvarnosti u arheologiji.....	45
6.1. <i>ARCHEOGUIDE</i> (2000. – 2002.).....	45
6.2. <i>LIFEPLUS Pompeii</i> (2002. – 2004.)	47
6.3. <i>VENUS</i> projekt (2006.-2009.)	48
6.4. <i>Archeomatica</i> (2012.) i izložba <i>Corps et esprits</i> (Tijelo i um – 2014.).....	49
6.5. <i>Juraj Dalmatinac Virtual Guide</i> (2013.)	51

6.6. Ara Pacis (2016.).....	52
6.7. MOPTIL	52
6.8. Bylany i Zalezlice (2017.)	54
6.9. Izložba Darovi zemlje – neolitik između Save, Drave i Dunava (2014.).....	56
6.10. Valorizacija amfiteatra Burnum (2017.)	56
7. Miješana stvarnost i arheologija	57
8. Nove primjene: ozbiljne igre	58
9. Zaključak	62
10. Popis slika	64
11. Popis literature	68
Povelje i dokumenti.....	77
Elektronički izvori	77

Pojmovnik

hardver – računalna sklopovska podrška ili sklopovlje, opipljivi dio računala

softver – programska oprema, neopipljivi dio računala u koji spadaju programi i podatci koji se nalaze u računalu

procesor – dio hardvera, središnja jedinica za obradbu podataka izvođenjem računalnih programa

radna memorija (RAM) – elektronička memorija za kratkoročno spremanje podataka koje procesor trenutačno obrađuje

game engine (eng.) - softverski sustav, odnosno jezgra ili baza za izradu računalnih igara

stereoskopski prikaz – prikaz nekog prostora u tri dimenzije, stvaranje iluzije dubine

parapodatci - interpretativni procesi i bilješke koje pojašnjavaju sve odluke i promišljanja tijekom korištenja tehnologije, npr. strategije prikupljanja podataka i njihovo korištenje

metapodatci - osnovne informacije o podacima; opisuju karakteristike nekog izvora u digitalnom obliku.

Popis kratica

HMD – *head-mounted display* (eng.)

VR – *virtual reality* (hr. virtualna stvarnost)

AR – *augmented reality* (hr. proširena stvarnost)

eng. – engleski

hr. - hrvatski

1. Uvod

Digitalna dokumentacija i virtualna 3D rekonstrukcija postaju standardni dio svakog arheološkog istraživanja. Digitalizacija arheološke dokumentacije, osim što ubrzava rad na terenu, otvara i nove mogućnosti prezentacije i vizualizacijenalaza i lokaliteta. Uz pomoć novih tehnologija kao što su virtualna i proširena stvarnost, moguće je na interaktivan i edukativan način rekonstruirati izgled nekog lokaliteta kroz različite periode u povijesti, pa i onaj njegov "neopipljivi", ali sastavni dio: njegovo stanovništvo, njihova zanimanja, svakodnevni život, društvene odnose ili religijske običaje. Vrijednost i korist virtualne i proširene stvarnosti za arheologiju mogu biti velike, kako u prezentaciji arheološke baštine široj javnosti i privlačenju veće publike u muzeje, tako i u lakšojvizualizaciji i testiranju hipoteza i teorija o formacijama i promjenama lokaliteta kroz vrijeme.

U ovom radu bit će objašnjene razlike između virtualne i proširene stvarnosti te ukratko opisan način njihova funkcioniranja. Osim kratkog pregleda razvoja tih tehnologija, bit će naveden i povijesni pregled njihovog korištenja unutar arheologije, od ranih početaka do nedavnih inovacija. Navest će se i nove tehnologije temeljene na miješanoj stvarnosti, koje su još u ranim stadijima razvoja, a također mogu imati veliki potencijal za struku i dovesti do novih i drugačiji načina vizualizacije u arheologiji. Za kraj će biti navedene još neiskorištene potencijalne primjene svih navedenih tehnologija.

2. Tehnologija

2.1. Virtualna stvarnost

2.1.1. Definicija

Virtualna stvarnost je računalna tehnologija koja korisnicima omogućuje privid boravka i kretanja unutar umjetnog trodimenzionalnog multimedijskog okruženja ili prividne stvarnosti. To se okruženje ostvaruje kombinacijom interaktivnog hardvera i softvera s ciljem da se korisniku pruži uvjerljivo iskustvo, tj. privid boravka u računalno generiranom

okruženju.¹Pojam koji se neizostavno veže uz virtualnu stvarnost je "imerzivnost", tj. implementacija korisnikovih osjetila u umjetno stvoreno okruženje, a može se definirati i kao percepcija fizičke prisutnosti u nefizičkom svijetu.²

Za takvu implementaciju koriste se posebni stereoskopski uređaji, najčešće kaciga s ugrađenim zaslonima od tekućih kristala (eng. *head-mounted display*), npr. *Oculus Rift*.³ Osim tih uređaja, koji su još uvijek relativno skupi, postoje i jeftinije kacige s lećama i držačem za mobilni uređaj koji ima mogućnost prikazivanja virtualnog sadržaja (npr. *Google Cardboard*).⁴ Ovi uređaji spadaju u tzv. obuhvatnu virtualnu stvarnost (eng. *fully immersive*), što znači da je korisnik u potpunosti uronjen u virtualno okruženje i da je stupanj interakcije s virtualnim okruženjem visok.⁵



Slika 1: uređaj Oculus Rift, primjer head-mounted display-a
Izvor: https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/61ueGFutGgL._SX342_.jpg (pristup 31.7.2018.)

Osim navedenih, postoje i CAVE sistemi (eng. *Cave Automatic Virtual Environment*). CAVE sistem je zatvoreni prostor koji je s minimalno tri strane okružen visokorezolucijskim

¹S. Ravlić (ur.), *Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje*, Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2017.: <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=64795> (pristup 13.9.2017.)

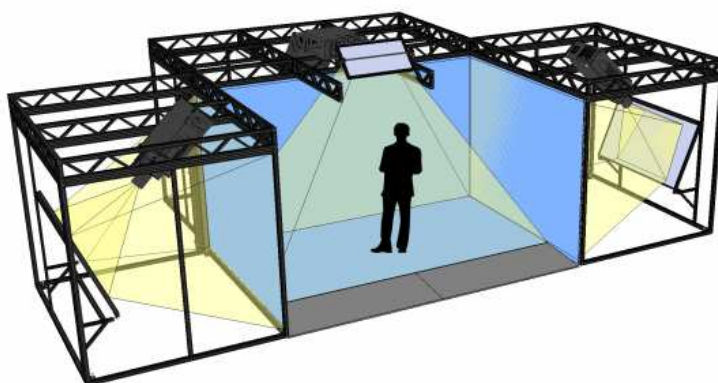
² Domagoj Buzjak, *Prema imerzivnom projektiranju proizvodnih procesa korištenjem tehnika virtualne stvarnosti: diplomski rad*, Zagreb, 2017., str. 16.-17. Dalje u tekstu: Buzjak, 2017.

³ F. P. Brooks, *What's Real About Virtual Reality?*, IEEE Computer Graphics and Applications, sv. 19 br. 6, 1999., str. 17.

⁴ Buzjak, 2017., str. 20.

⁵ *ibid.*, str. 18.

monitorima ili projektorima i u kojem se korisnik može slobodno kretati. Više ljudi može koristiti CAVE sistem istovremeno, a za potpuni doživljaj virtualne stvarnosti potrebno je nositi i 3D naočale.⁶ Ovakvi sistemi spadaju u tzv. neobuhvatnu virtualnu stvarnost (eng. *non-immersive* ili *semi-immersive*) u kojoj korisnik nije u potpunosti imerziran u virtualno okruženje i stupanj interakcije s virtualnim prostorom je nizak.⁷ Doživljaj se, bez obzira na korišteni sistem, uvijek upotpunjuje zvukovima uz pomoć slušalica ili zvučnika.



Slika 2: CAVE sistem virtualne stvarnosti

Izvor: <http://www.visbox.com/wp/wp-content/uploads/2015/03/c4-4k-sw-600.png> (pristup 31.7.2018.)

2.1.2. Povijesni pregled razvoja

Prvi spomen virtualne stvarnosti, ili barem nečeg sličnog, pronalazimo u kratkoj priči "*Pygmalion's Spectacles*"⁸ iz 1936. godine koja opisuje uređaj koji podsjeća na gas masku, s naočalama i gumenim pokrivalom za usta, te prikazuje holografske snimke i nosiocu omogućuje da ih doživi vizualno, auditivno, olfaktivno pa i taktilno.

Među najranijim "stvarnim" uređajima bliskima virtualnoj stvarnosti ubraja se *Sensorama*, koju je 1962. godine patentirao kinematograf Morton Heilig. *Sensorama* je bila mehanički kabinet unutar kojeg su korisnici mogli gledati stereoskopske 3D filmove sa stereo zvukom, a

⁶J. Strickland, *How Virtual Reality Gear Works*, HowStuffWorks.com, 2007.:
<http://electronics.howstuffworks.com/gadgets/other-gadgets/VR-gear2.htm> (pristup 13.9.2017.)

⁷Buzjak, 2017., str. 18.

⁸S. G. Weinbaum, *Pygmalion's Spectacles*, Project Gutenberg, 2006.:
<http://gutenberg.net.au/ebooks06/0607251h.html>(pristup 13.9.2017.)

kabinet je mogao i nagnjati stolicu na kojoj korisnik sjedi i puhati im zrak u lice, na taj način simulirajući vjetar ili različite mirise.⁹



Slika 3: Sensorama

Izvor: <https://i.imgur.com/CijMvQg.jpg> (pristup 31.7.2018.)

Prvi *head-mounted display* za virtualnu i proširenu stvarnost dizajnirao je 1968. profesor Ivan Sutherland, kojeg danas smatramo ocem računalne grafike. Uređaj je bio toliko težak da ga se nije moglo direktno nositi, već je morao biti pričvršćen na strop. Podržavao je praćenje pokreta u realnom vremenu, ali bio je primitivan u pogledu korisničkog sučelja i grafike.¹⁰

⁹T. Mazuryk, M. Gervautz, *Virtual Reality: History, Applications, Technology and Future*, publikacije Instituta za računalnu grafiku i algoritme u Beču, 1996., str. 2. Dalje u tekstu: Mazuryk, Gervautz, 1996.

¹⁰ Mazuryk, Gervautz, 1996., str. 2.



Slika 4: prvi head-mounted display

Izvor: <http://www.dsource.in/sites/default/files/course/virtual-reality-introduction/evolution-vr/sword-damocles-head-mounted-display/images/17.jpg> (pristup 31.7.2018.)

Tijekom 1980-ih Jaron Lanier osniva tvrtku *VPL Research* i popularizira izraz "virtualna stvarnost". Tvrtka je 1988. godine proizvela *EyePhone HMD*, prvi komercijalni *head-mounted display*.¹¹

Sustav virtualne stvarnosti za znanstvene vizualizacije *CAVE* (*CAVE Automatic Virtual Environment*) razvijen je 1992. godine. Za razliku od ostalih sistema, projektirao je stereoskopske slike na zidove, a korisnik ih je promatrao s 3D naočalama. Omogućavao je šire vidno polje od ostalih sistema.¹²

Nakon devedesetih godina prošloga stoljeća nema važnijih napredaka u razvoju hardvera i softvera za virtualnu stvarnost, sve do 2012. kada Palmer Lucky osniva tvrtku *Oculus* i uz pomoć kampanje na internetskoj stranici *Kickstarter* razvija prvi prototip *Oculus Rift VR* naočala za virtualnu stvarnost.¹³ Prva komercijalna verzija *Oculus Rift*-a puštena je u prodaju u ožujku 2016. godine. Odmah poslije njega na tržište je izašao i *HTC Vive* u travnju 2016. godine.¹⁴

Prvi *head-mounted display* koji je donio virtualnu stvarnost na mobilne telefone bio je *Google Cardboard*. Uređaj se sastoji od kartonskog zaslona sa držačem za pametni telefon koji prikazuje VR sadržaj.¹⁵ Na tržištu je od 2015. godine, a nedugo nakon njega razvijen je i

¹¹ *ibid.*, str. 2.

¹² *ibid.*, str. 3.

¹³ Buzjak, 2017., str. 22.

¹⁴ B. Chacos, *Virtual reality, one year out: What went right, what didn't*, *PCWorld*, prosinac 2016., str. 143.-144.

¹⁵ Buzjak, 2017., str. 20.

Samsung VR, funkcionalno jednak *Google Cardboard*-u, ali kvalitetnije izrade i sa podrškom isključivo za *Samsung* pametne telefone.¹⁶

2.2. Proširena stvarnost

2.2.1. Definicija

Proširena stvarnost je računalna tehnologija koja u stvarnom vremenu "širi" ili "povećava" pogled na stvarnost tako što joj dodaje virtualne, računalno generirane informacije. Razlikuje se od virtualne stvarnosti koja korisnika u potpunosti uranja u virtualni svijet, te za to vrijeme korisnici ne vide stvarni svijet oko sebe. Proširena stvarnost koristi prikaz kamere uređaja kroz koji korisnik gleda svijet oko sebe te na njega postavlja virtualne objekte u stvarnom vremenu i na taj način ga "širi".¹⁷



Slika 5: primjer proširene stvarnosti

Izvor: <https://www.augment.com/blog/wp-content/uploads/2016/02/Stephanie-Photo1.jpg> (pristup 31.7.2018.)

Računalno generirani modeli i druge informacije mogu se projicirati uz pomoć unaprijed određenih markera koji odgovaraju položaju na kojem se treba generirati virtualni objekt, ili uz pomoć računalnog vida i tehnologije prepoznavanja slika (eng. *image recognition*).¹⁸ Proširena stvarnost se potencijalno može primjeniti na sva osjetila, "proširujući" i miris, dodir

¹⁶ ibid, str. 23.

¹⁷ J. Carmigniani et. al., *Augmented reality technologies, systems and applications*, Multimedia Tools and Applications sv. 51, br. 1, 2011., str. 342. Dalje u tekstu: Carmigniani et al, 2011.

¹⁸ E. Cetinić, *Kombinacija stvarnih i virtualnih scena: završni rad*, Zagreb 2010., str. 9.-11. Dalje u tekstu: Cetinić, 2010.

i sluh s računalno generiranim informacijama.¹⁹ Vizualizacija proširene stvarnosti nije ograničena samo na HMD-e, a danas se najčešće promatra kroz tablete i pametne mobitele.

2.2.2. Povijesni pregled razvoja

Tehnološki zahtjevi za proširenu stvarnost puno su veći od onih za virtualnu, te se iz tog razloga ona počela razvijati mnogo kasnije od virtualne stvarnosti. Unatoč tome, ključni komponenti potrebni za rad sistema proširene stvarnosti ostali su isti od 1960-ih. Prema tome, možemo reći da razvoj proširene stvarnosti počinje s Ivanom Sutherlandom 1968. i njegovim *head-mounted display*-om.²⁰ Prvi sistem sličan proširenoj stvarnosti stvorio je 1975. godine Myron Krueger i nazvao ga *Videoplace*. Radilo se o sobi koja je kombinirala projektore i kamere te po prvi puta omogućila korisnicima interakciju s virtualnim objektima u stvarnom svijetu.²¹

Istraživanja tehnologije se nastavljaju, te 1990. godine Thomas Caudell i David Mizell prvi koriste pojam "proširena stvarnost" (eng. *augmented reality*) kada su za tvrtku *Boeing* razvili uređaj koji je vodio radnike kroz tvornicu kablova tako što im je ispisivao potrebne informacije direktno na zaslone i na taj način olakšao i ubrzao rad u tvornici.²² Iste godine L.B. Rosenberg razvija jedan od prvih funkcionalnih sistema proširene stvarnosti koji se zvao *Virtual Fixtures*.²³ U devedesetim godinama 20. stoljeća proširena stvarnost postaje posebno polje znanstvenog istraživanja i osnivaju se prve konferencije isključivo na temu AR-a.

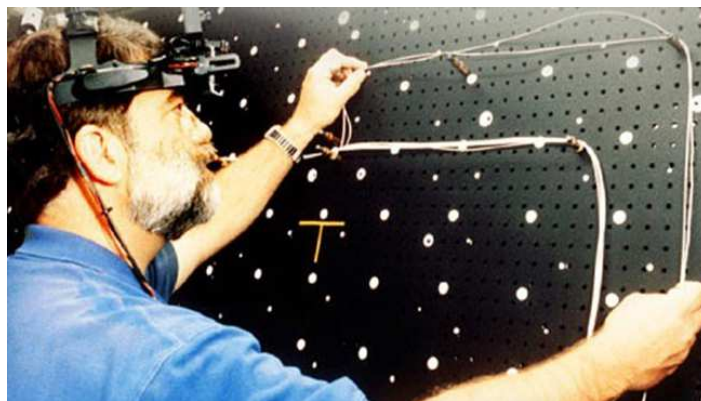
¹⁹ D.W.F. van Krevelen i R. Poelman, *A Survey of Augmented Reality Technologies, Applications and Limitations*, The International Journal of Virtual Reality, sv. 9, br. 2, 2010., str. 1. Dalje u tekstu: van Krevelen, Poelman, 2010.

²⁰ van Krevelen, Poelman, 2010., str. 2.

²¹ Carmigniani et al, 2011., str. 343.

²² T. P. Caudell, D. W. Mizell, *Augmented Reality: An Application of Heads-Up Display Technology to Manual Manufacturing Processes*, Zbornik Međunarodne konferencije o sistemskim znanostima, sv. 2, 1992., str. 659.-669.

²³ Carmigniani et al, 2011., str. 343.



Slika 6: prve primjene proširene stvarnosti u tvornici kablova
Izvor: <https://cdn.vertebrae.com/2018/06/Tom-Caudell-AR.png> (pristup 31.7.2018.)

Steven Feiner sa Sveučilišta Columbia sa svojim studentima 1997. godine razvija prvi mobilni AR sistem zvan MARS koji je u stvarnom vremenu prikazivao grafičke 3D informacije o zgradama i artefaktima koje korisnik vidi u tom trenutku, postavljajući tako temelje za brojne muzejske i turističke vodiče.²⁴ 2000. godine Hirokazu Kato razvija besplatan softver za razvoj aplikacija proširene stvarnosti zvan *ARToolkit*, koji se u proširenom obliku koristi još i danas.²⁵ Prve kamere s mogućnošću analiziranja okoliša u stvarnom vremenu i orijentacije objekata u prostoru razvijaju se 2005. godine, što otvara put modernoj proširenoj stvarnosti.²⁶

Od kasnih 2000-ih do danas razvijaju se brojne aplikacije proširene stvarnosti, preko turističkih vodiča, igara, medicinskih aplikacija i brojnih drugih. Današnji pametni uređaji (mobiteli, tableti i sl.) većinom imaju dovoljne tehnološke mogućnosti da podržavaju AR aplikacije, što uvelike olakšava njihov razvoj i pristupačnost.

2.3. Miješana stvarnost

Mješana stvarnost (eng. *mixed reality* – MR) rezultat je spajanja fizičkog i digitalnog svijeta. Pojam "miješana stvarnost" prvi put se spominje u članku Paula Milgrama i Fumio Kishinoa *A Taxonomy of Mixed Reality Visual Display* iz 1994.²⁷ Njihov rad je prvi put predstavio

²⁴ S. Feiner, B. MacIntyre, T. Höllerer, A. Webster, *A Touring Machine: Prototyping 3D Mobile Augmented Reality Systems for Exploring the Urban Environment*, Zbornik međunarodnog simpozija o nosivim računalima, 1997., str. 74.-81.

²⁵ van Krevelen, Poelman, 2010., str. 2.

²⁶ Carmigniani et al, 2011., str. 343.

²⁷ P. Milgram, F. Kishino, *A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays*, IEICE Transactions on Information Systems, sv. E77-D, br. 12, 1994., str. 1321.-1329. Dalje u tekstu Milgram, Kishino, 1994.

koncept virtualnog kontinuuma, koji opisuje postojanje kontinuirane skale u rasponu od potpuno virtualnog do potpuno stvarnog okruženja.

Mješana stvarnost prema Milgramu i Kishinou definira se kao mješavina virtualne i proširene stvarnosti, dok se istovremeno od obje razlikuje u nekoliko bitnih stavki. Za razliku od virtualne stvarnosti, korisnik nije u potpunosti uronjen u virtualno okruženje, već vidi i stvarni svijet oko sebe. U proširenoj stvarnosti korisnik nema mogućnost interakcije sa računalno generiranim modelima ili tekstom, dok mješana stvarnost omogućuje korisniku da u stvarnom vremenu vrši fizičku interakciju s virtualnim sadržajem.²⁸



Slika 7: interakcija s hologramima Microsoft Hololensa

Izvor:

<https://cdnassets.hw.net/dims4/GG/a450e00/2147483647/resize/876x%3E/quality/90/?url=https%3A%2F%2Fcdnassets.hw.net%2Ff6%2Ff3%2F7e97e4d043beaa9d818ff0d0f2ec%2Ftech2017-nyc-holo-perkinswill-hero.jpg> (pristup 31.7.2018.)

Uređaji koji omogućavaju takvo iskustvo razvijeni su prvi put u posljednjih nekoliko godina i nazivaju se hologramski uređaji. Oni omogućuju prikazivanje digitalnog sadržaja u obliku holograma.²⁹ Hologrami su digitalni objekti sačinjeni od svjetla i zvuka i smješteni u stvarni svijet poput opipljivih predmeta. Uz pomoć hologramskih uređaja, hologrami reagiraju na korisnikov pogled, gestu ili glasovnu naredbu, te imaju mogućnost interakcije s površinama iz

²⁸ N. Godwin, *What Are Mixed Reality, Virtual Reality and Augmented Reality?*, maketecheasier.com, 2017.

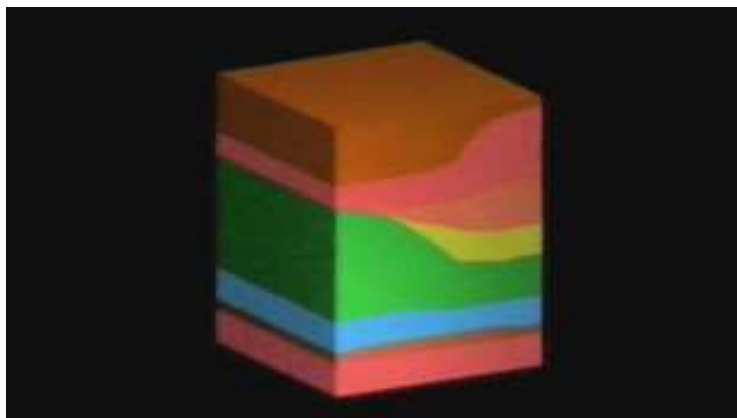
<https://www.maketecheasier.com/mixed-reality-virtual-reality-augmented-reality/> (pristup 16.9.2017.)

²⁹ https://developer.microsoft.com/en-us/windows/mixed-reality/mixed_reality (pristup 17.9.2017.)

stvarnog svijeta.³⁰ Najpoznatiji hologramski uređaj je *Microsoft Hololens*³¹. Osim njega, u razvoju su trenutno i *Magic Leap*³² i *Meta 2*³³.

3. Virtualna arheologija i potreba za novim tehnologijama

Pojam "virtualna arheologija" prvi je upotrijebio Paul Reilly 1990. godine³⁴ kao odgovor na prvo razdoblje osobnih računala i prvi val digitalnih tehnologija koje su bile dostupne arheolozima na terenu. Označavao je načine na koje se nove računalne tehnologije mogu iskoristiti da bi se postigli novi oblici dokumentiranja i interpretacija arheoloških materijala i procesa. Pojam je zamišljen kao općeniti koncept i "provokacija" koja je trebala potaknuti znanstvenike da istražuju uzajamno djelovanje digitalnih i konvencionalnih arheoloških metoda.³⁵ Jedan od prvih primjera "virtualne arheologije" bio je animirani 3D model³⁶ stratigrafije hipotetskog iskopavanja prezentiran na CAA konferenciji 1990. godine.³⁷



Slika 8: digitalni 3D model stratigrafije hipotetskog lokaliteta iz 1990. godine
Izvor: <http://www.interactivearchaeology.com/wp-content/uploads/2014/10/Paul-Reilly-310x174.jpg> (31.7.2018.)

³⁰ <https://developer.microsoft.com/en-us/windows/mixed-reality/hologram> (pristup 17.9.2017.)

³¹ <https://www.microsoft.com/en-us/hololens> (pristup 17.9.2017.)

³² <https://www.wired.com/2016/04/magic-leap-vr/> (pristup 17.9.2017.)

³³ <http://www.metavision.com/> (pristup 17.9.2017.)

³⁴ P. Reilly, *Towards a Virtual Archaeology*, Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology 1990, BAR, Oxford, 1991., str. 133.-140. Dalje u tekstu: Reilly, 1991.

³⁵ G. Beale i P. Reilly, *After Virtual Archaeology: Rethinking Archaeological Approaches to the Adoption of Digital Technology*, Internet Archaeology 44, 2017. (preuzeto sa: <http://intarch.ac.uk/journal/issue44/1/index.html>) Dalje u tekstu: Beale, Reilly, 2017.

³⁶ <https://www.youtube.com/watch?v=OKVRTNFLHjU> (pristup 19.9.2017.)

³⁷ Reilly, 1991., str. 135.-137.

Do danas je virtualna arheologija postala uglavnom asocirana s korištenjem 3D modela i računalne grafike u arheološkim istraživanjima, a ta asocijacija je utvrđena i dodatno pojačana brojnim publikacijama. Nema sumnje da ove tehnologije predstavljaju velik dio virtualne arheologije, ali one nisu potpuna definicija pojma ni njegove krajnje granice, budući da on predstavlja općenitu potrebu da se kritički ispituje veza između novih tehnologija i postojećih praksi i metodologije u arheologiji.³⁸ Sa sve širom primjenom računala, pametnih telefona, tableta i sličnih uređaja u svakodnevnom životu, danas je ta potreba možda veća nego ikad.

Među humanističkim znanostima arheologija je jedinstvena u svom kritičkom procjenjivanju i asimiliranju tehnologija, te se često ističe kao interdisciplinarna znanost. Arheologija je tako za svoje potrebe preuzela i modificirala tehnologije kao što su GIS (geografski informacijski sustav)³⁹, RTI (*Reflectance Transformation Imaging*)⁴⁰ i CAD (*Computer Aided Design*)⁴¹, od kojih nijedna originalno nije bila namjenjena u svrhe arheoloških iskopavanja. Sveprisutnost računala u 21. stoljeću omogućuje korištenje takvih tehnologijama, a ne samo stručnjacima. U današnje vrijeme digitalna dokumentacija je postala uobičajena praksa i dio gotovo svakog istraživanja budući da omogućava brže, precizije i jasnije dokumentiranje na terenu. Neki od programa koji se često koriste za potrebe dokumentacije su *AutoCAD*, *Agisoft Photoscan*, *ArcGIS*, *PhotoModeler* i drugi.

Vještine potrebne za razvoj i istraživanje novih digitalnih aplikacija za metodološke potrebe su se povećale kod arheologa u skladu sa sve većim korištenjem tehnologije u privatnom životu, a rastući naglasak na informatičku pismenost u obrazovnom sustavu znači da će sve veći broj studenata ući u profesiju s već razvijenim vještinama potrebnim za korištenje ili razvijanje softvera zajedno sa standardnim arheološkim praksama. Prema tome, P. Reilly smatra da je prijeko potrebno pronaći način da se nove tehnologije uklope u struku na značajan način te da ih se oblikuje prema potrebama i metodologijama arheološke struke.⁴² Virtualna i proširena stvarnost relativno su nove tehnologije, ali brojne industrije i znanstvene discipline već iskušavaju njihove primjene u edukativne i radne svrhe (medicina,

³⁸ Beale, Reilly, 2017.

³⁹ <https://researchguides.library.wisc.edu/GIS> (pristup 20.9.2017.)

⁴⁰ <http://culturalheritageimaging.org/Technologies/RTI/> (pristup 20.9.2017.)

⁴¹ N. Bilalis, *Computer Aided Design – CAD*, izvješće projekta *INNOREGIO: dissemination of innovation and knowledge management techniques*, Tehničko sveučilište na Kreti, 2000. (preuzeto sa: http://www.adi.pt/docs/innoregio_cad-en.pdf)

⁴² Beale, Reilly, 2017.

strojarstvo, građevina, znanstvene vizualizacije u fizici, kemiji, biologiji, itd.)⁴³ i arheologija je jedna od njih. Više o potencijalnim i trenutnim primjenama virtualne i proširene stvarnosti u arheologiji biti će rečeno u narednim poglavljima.

3.1. Standardi arheoloških vizualizacija

3D dokumentacija i rekonstrukcija arheoloških lokaliteta postala je gotovo uobičajeni dio arheoloških istraživanja, a računalna grafika danas je tema brojnih teoretskih i tehničkih rasprava. Od njenih prvih primjena u 1980-ima vrlo brzo je postala standardna metoda unutar struke, a izrazi poput "virtualna rekonstrukcija" i "3D model" upotrebljavaju se u stručnoj literaturi bez potrebe za dodatnim pojašnjavanjem njihovog značenja. Većina publikacija posvećenih toj temi usredotočena je na razvijanje epistemoloških i ontoloških standarda za korištenje računalne grafike u arheologiji⁴⁴, te na postavljanje standarda za metapodatke i parapodatke.

Vizualizacija arheoloških podataka u virtualnoj i proširenoj stvarnosti izvodi se pomoću digitalnih modela i rekonstrukcija. Zbog njihove temeljne uloge u korištenju VR i AR tehnologija potrebno je ukratko se osvrnuti na određene uvjete i principe koje bi trebalo slijediti prilikom njihove izrade. Ako želimo njima prenijeti znanje i podići svijest o arheološkoj baštini potrebno je osigurati da se prilikom njihovog oblikovanja i prezentacije koriste točne informacije utemeljene na znanstvenim istraživanjima i dokumentaciji s terena. Najpoznatije i najvažnije publikacije koje se bave tim problemima su Londonska povelja i Seviljski principi.

Londonska povelja definira općenite principe i smjernice za korištenje računalnih vizualizacija u istraživanju i prezentaciji kulturne baštine..⁴⁵ Cilj Seviljskih principa je proširiti smjernice Londonske povelje na polje virtualne arheologije i implementirati ih u računalnim vizualizacijama arheološke baštine. Osim toga, cilj je i podići svijest o odgovornoj i kritičkoj primjeni novih digitalnih metoda i tehnika u arheološkim istraživanjima te

⁴³Forbes Technology Council, *Seven Non-Gaming Applications For Virtual Reality*, Forbes.com, 2016.: <https://www.forbes.com/sites/forbestechcouncil/2016/09/28/seven-non-gaming-applications-for-virtual-reality/#f4840a92c967> (pristup 23.9.2017.)

⁴⁴Beale, Reilly, 2017.

⁴⁵*The London Charter for the Computer-based Visualisation of Cultural Heritage*, verzija 2.1., 2009., str. 2.-4.
Preuzeto sa: <http://www.londoncharter.org/>

konzervaciji i prezentaciji spomenika.⁴⁶ U dokumentu se također donose definicije različitih vrsta digitalnih vizualizacija unutar arheologije, koje je potrebno spomenuti i ovdje, budući da će se ti pojmovi često spominjati u daljnjem tekstu:

1. Virtualna restauracija: korištenje digitalnih 3D modela materijalnih ostataka kako bi ih se digitalno zabilježilo i očuvalo.
2. Virtualna anastiloza: virtualno spajanje digitalnih 3D modela postojećih odvojenih djelova nekog spomenika u cjelovit model. Virtualna anastiloza dio je virtualne restauracije
3. Virtualna rekonstrukcija: korištenje digitalnih 3D modela da bi se vizualizirala građevina ili objekt izrađen ljudskom rukom u bilo kojem trenutku povijesti, temeljem postojećih podataka o tim objektima koji su dobiveni znanstvenim arheološkim istraživanjima.
4. Virtualna rekreacija: korištenje 3D modela da se vizualizira arheološki lokalitet u određenom trenutku u povijesti, uključujući i njegovu materijalnu kulturu i okoliš te objekte ili dijelove objekata koji više ne postoje.⁴⁷

Dokument donosi sveukupno osam principa koji su pojašnjeni i dopunjeni natuknicama i dodatnim objašnjenjima, a ovdje je donesen pregled najvažnijih za korištenje virtualne i proširene stvarnosti unutar arheologije.

Prvi princip je interdisciplinarnost. S obzirom na njihovu kompleksnost, bilo koja računalna vizualizacija arheološke baštine mora biti rezultat suradnje stručnjaka iz više različitih znanstvenih disciplina (arheologije, računalne znanosti, povjesti, arhitekture, antropologije, geodezije...), a posebno se ističe potreba za prisutnošću arheologa ili povjesničara⁴⁸, kako bi se što više smanjila mogućnost prezentiranja netočnih informacija. Sljedeći princip nalaže kako svrha primjenjivanja novih tehnologija u kulturnoj baštini mora služiti stvarnim potrebama arheologa, povjesničara, restauratora, muzeologa, kustosa i drugih profesionalaca iz tog područja.⁴⁹ Također se naglašava kako računalne vizualizacije ne smiju stremiti tome da zamijene konvencionalne, ali jednako učinkovite metodološke pristupe (npr. cilj virtualne restauracije ne smije biti da zamjeni fizičku restauraciju, niti virtualni posjeti lokalitetima ne

⁴⁶ *The Seville Principles: International Principles of Virtual Archaeology*, International Forum of Virtual Archaeology, 2011., str. 4. Preuzeto sa: <http://smarterheritage.com/seville-principles/seville-principles>. Dalje u tekstu: *The Seville Principles*, 2011.

⁴⁷ *The Seville Principles*, 2011., str. 3.

⁴⁸ *ibid.*, str. 5.

⁴⁹ *ibid.*, str. 5.

smiju oduzimati od stvarnih, fizičkih posjeta).⁵⁰ S obzirom na to da je arheologija kompleksna, a ne egzaktna i nepobitna znanost, na rekonstrukcijama uvijek moraju biti jasno naznačeni autentični, postojeći dijelovi, kako bi ih se moglo s lakoćom razlikovati od hipotetskih.⁵¹ Da bi se takva razlika mogla naglasiti, potrebno je uvijek temeljiti bilo koji oblik računalnih vizualizacija na znanstvenim istraživanjima te povijesnoj i arheološkoj dokumentaciji.⁵² Osim toga, svakavizualizacija mora biti transparentna, tj. mora biti lako dostupna drugim stručnjacima zajedno sa svim korištenim izvorima, kako bi se validnost zaključaka proizašlih iz takvih vizualizacija mogla potvrditi ili opovrgnuti.⁵³

3.2. Problemi digitalnih metoda dokumentacije i virtualnih rekonstrukcija

Prema dosadašnjim iskustvima u struci čini se da je digitalna 3D rekonstrukcija, posebno ona u virtualnoj i proširenoj stvarnosti, više u službi i od koristi široj javnosti kako bi se jasnije vizualizirali objekti istraživanja, nego alat koji samom istraživanju može ponuditi nove, drugačije mogućnosti i metode.⁵⁴ No unatoč takvom utisku, digitalizacija arheoloških iskopavanja može promijeniti način na koji promatramo lokalitet i njegovu stratigrafiju, te prostorni raspored nalaza unutar nje. Sa sve bržim razvojem visokokvalitetne računalne grafike koja je komercijalno dostupna, te razvojem boljih softvera za obradu podataka za fotogrametriju, moguće je izraditi sveobuhvatne aplikacije za bilježenje i vizualizaciju arheoloških podataka u toku istraživanja (npr. aplikacijai*Dig - Recording Archaeology*⁵⁵). Digitalni model samog iskopavanja mogao bi rekreirati stanje slojeva u određenom trenutku istraživanja. Takva rekreacija ima veliku vrijednost, pogotovo kad uzmemo u obzir da su već otkopani slojevi bespovratno izgubljeni. Jedan primjer korištenja 3D dokumentacije na terenu je projekt *3D-Digging at Çatalhöyük*, čiji je cilj digitalna reprodukcija cijelog procesa iskopavanja uz pomoć virtualne stvarnosti.⁵⁶ Pri korištenju takvih modela mogućnost mijenjanja položaja i transparentnosti digitalnih slojeva omogućava drukčije uvide u

⁵⁰ ibid., str. 6.

⁵¹ ibid., str. 6.

⁵² ibid., str. 7.

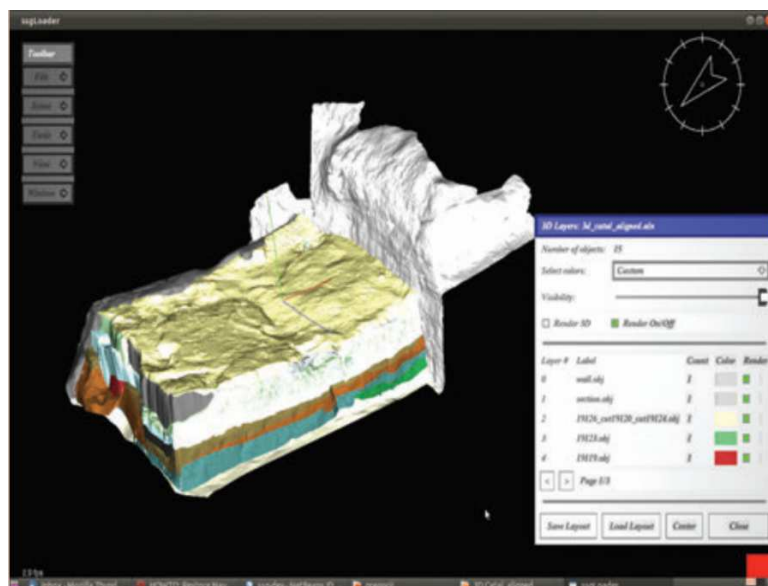
⁵³ ibid., str. 8.

⁵⁴ D. Tsiafaki, N. Michailidou, *Benefits and Problems Through the Application of 3D Technologies in Archaeology*, Scientific Culture, sv. 1, br. 3, 2015., str. 38. Dalje u tekstu: Tsiafaki, Michailidou, 2015.

⁵⁵ M. Uildriks, *iDig - Recording Archaeology: a review*, Internet Archaeology 42, 2016. (<http://intarch.ac.uk/journal/issue42/13/uildriks.html>)

⁵⁶ M. Forte, *3D Archaeology: New Perspectives and Challenges – The Example of Çatalhöyük*, Journal of Eastern Mediterranean Archaeology and Heritage Studies, sv. 2, br. 1, 2014., str. 1.

prostorne odnose, lakše usporedbe stratigrafskih slojeva, uvid u razlike i sličnosti prilikom njihove interpretacije te omogućava laku vizualizaciju rasporeda nalaza u svakom trenutku iskopavanja nakon što je ono već završeno.⁵⁷



Slika 9: vizualizacija stratigrafskih slojeva u projektu 3D-Digging at Çatalhöyük
Izvor: M. Forte, 3D Archaeology: New Perspectives and Challenges – The Example of Çatalhöyük, *Journal of Eastern Mediterranean Archaeology and Heritage Studies*, sv. 2, br. 1, 2014., str. 8.

Nažalost, izrada jedinstvene aplikacije za digitalnu vizualizaciju i manipulaciju arheološkim podacima uvelike je otežana činjenicom da je svaki lokalitet priča za sebe, s posebnim specifičnostima i problemima na koje je teško dati standardizirana rješenja unutar jednog softvera. Za razliku od projekta na Çatalhöyuku, nemaju svi istraživači prilike, vremena ni financijskih mogućnosti da uključe takve metode u svoja istraživanja. Osim toga, prikupljanje, obrada i upravljanje 3D podacima tijekom iskopavanja ili istraživanja može biti izazovno u odnosu na tradicionalne metode dokumentacije. Odluka da se 3D dokumentacija uklopi u istraživanje uključuje i određeni nivo stručnosti potreban da se ona izradi. Još jedan problem je njena pohrana i čuvanje, budući da 3D modeli, pogotovo oni koji prikazuju velike i kompleksne objekte, zauzimaju mnogo memorije na računalu i za normalan, svakodnevni rad na njima potrebna su "moćna" računala s mnogo radne memorije, te grafičke i procesorske snage.⁵⁸

⁵⁷ Tsiafaki, Michailidou, 2015., str. 39.

⁵⁸ ibid., str. 42.

Čest problem s virtualnim rekonstrukcijama, što će biti vidljivo i na primjerima navedenima u ovom radu, je njihova dehumanizacija. Velik dio ljudi, neovisno o njihovoj pozadini, imaju određena očekivanja i pretpostavke o ulozi vizualizacije u arheologiji; najčešće je to očekivanje da vizualizacije mogu ili bi trebale predstavljati činjenice o prošlosti. Ta očekivanja mogu biti problematična, jer kao što interpretacija nalaza ne predstavlja definitivnu istinu o lokalitetu, tako ni vizualizacija ne može predstavljati definitivnu sliku istog.⁵⁹ Kritike računalnih vizualizacija u stvari su uvijek usmjerene na neki aspekt rekonstrukcija lokaliteta. Često je prisutno mišljenje da rekonstrukcije uvijek pokazuju više nego što znamo, da su subjektivne, te da na temelju njih nestručna osoba lako može dobiti krivu percepciju prikazanog lokaliteta, grada ili kulture. Mnoštvo radova o specifičnim metodama, najboljim praksama dokumentacije i izrade 3D modela svjedoči tome kako su autori digitalnih arheoloških vizualizacija pod konstantnim pritiskom da verificiraju svoj rad. Peter Jablonka, Steffen Kirchner i Jordi Seranelli⁶⁰ s druge strane smatraju da se rekonstrukcije temelje na istim teoretskim i metodološkim principima kao i interpretacija nalazišta u arheološkim publikacijama. Zaključci se donose na temelju stvarnih podataka, analogija i nalaza, te se kao i kod bilo koje publikacije objašnjenja i interpretacije donose kombiniranjem fragmentiranog znanja o nalazištu i pretpostavki utemeljenih na dostupnim dokazima.⁶¹

U arheologiji se često smatra kako se kreativne vizualizacije trebaju izbjegavati u korist objektivnih prikaza kojima je cilj samo zabilježiti objekt. To je posebno vidljivo u polju 3D vizualizacija i virtualne stvarnosti, gdje većina rekonstrukcija lokaliteta u potpunosti odbacuje svaki trag ljudskog djelovanja i prezentira te modele kao sterilne okoliše lišene ljudskog utjecaja.⁶² Takvi modeli trebali bi vizualizirati sami prostor, a ne definirati mjesto i vrijeme, ali postavlja se pitanje u kojoj mjeri su te vizualizacije u stvari objektivne i realne? Dapače, takve rekonstrukcije protive se Seviljskim principima, u kojima se jasno navodi da su "...okoliš, krajolik ili kontekst povezani s arheološkim ostacima jednako važni kao i same ruševine. Paleobotanička, paleozoološka i paleoantropološka istraživanja moraju se koristiti kao podloga za izradu virtualnih rekonstrukcija okoliša i konteksta. Rekonstrukcije ne mogu

⁵⁹ A. Watterson, *Beyond Digital Dwelling: Re-thinking Interpretive Visualisation in Archaeology*, Open Archaeology, sv. 1, br. 1, 2015. str. 127. Dalje u tekstu: Watterson, 2015.

⁶⁰ P. Jablonka, S. Kirchner, J. Seranelli, *TroiaVR: A Virtual Reality Model of Troy and the Troad*, Zbornik radova konferencije *Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology*, 2002., str. 13.-18. Dalje u tekstu: Jablonka, Kirchner, Seranelli, 2003.

⁶¹ Jablonka, Kirchner, Seranelli, 2003., str. 16.

⁶² Watterson, 2015., str. 121.

sistematично prikazivati beživotne gradove, prazne građevine i mrtve krajolike jer je to povijesna neistina."⁶³



Slika 10: primjer prazne, beživotne rekonstrukcije lokaliteta (nalazište Latters u Francuskoj)
Izvor: <https://i.ytimg.com/vi/6oseC0Yuc94/hqdefault.jpg> (pristup 31.7.2018.)

Dehumaniziranje reprezentacija prošlosti nije produktivno rješenje i moglo bi se reći da takve "prazne" rekonstrukcije zapravo oduzimaju od lokaliteta ono najvažnije u njemu i ono što sama arheologija i proučava, a to su ljudi koji su ga izgradili, na njemu živjeli i ostavili svoj trag. Materijalnu ostavštinu ne možemo u potpunosti doživjeti i razumjeti bez ljudske komponente. Kod šire javnosti treba uvijek podizati svijest o tome da nijedan lokalitet ne bi postojao bez ljudi koji su ga stvorili i oblikovali svojim djelovanjem. Nedostatak ljudske komponente u tim rekonstrukcijama može se objasniti visoko specijaliziranim tehničkim znanjem unutar digitalnih medija koje je potrebno da bi se proizveli kvalitetni modeli.⁶⁴ Unatoč tome, kao što su i ranije tradicionalno arheolozi unajmljivali umjetnike za crtane rekonstrukcije, tako danas imaju mogućnost unajmljivanja digitalnih umjetnika (grafički dizajneri, animatori, 3D modeleri i sl.) koji mogu proizvesti kvalitetne digitalne modele i rekonstrukcije.

⁶³The Seville Principles, 2011., str. 7.

⁶⁴Watterson, 2015., str. 121.

4. Primjene virtualne i proširene stvarnosti

Venecijanska povelja iz 1964. deklarira da "restauracija prestaje tamo gdje počinju pretpostavke",⁶⁵ pa se može reći da virtualna arheologija počinje tamo gdje restauracija prestaje. Dok je cilj restauracije konzervacija, tj. očuvanje vremenskog kontinuiteta umjetničkog djela ili dijela kulturnog spomenika, zadaća virtualne arheologije je (osim digitalizacije nalaza i spomenika) da na nedestruktivan način rekonstruira ne samo vidljive i opipljive elemente kulturne baštine, već i one koje je teško dešifrirati i prikazati. Svaka virtualna hipotetska rekonstrukcija konzistentna je s principima brojnih povelja o restauraciji: prenosi informacije o rekonstruiranom objektu, ističe obrazovnu vrijednost kulturne baštine, te daje rješenje na probleme nepovratnih destruktivnih metoda fizičke restauracije.⁶⁶

Virtualne rekonstrukcije su također i veoma koristan alat u arheološkim istraživanjima, pošto omogućavaju testiranje različitih hipoteza o izgledu i formiranju lokaliteta kroz vrijeme na jasan način i u tri dimenzije. Sam proces izrade takvih modela tjera arheologe na drugačije razmišljanje – rekonstrukcija lokaliteta u dvije dimenzije je za razliku od trodimenzionalnih modela ograničavajuća, pošto ne omogućuje jasan uvid u stvaran omjer veličina građevinskih objekata, njihovu prostornu komunikaciju i utjecaj na okoliš.⁶⁷ Osim toga, virtualni modeli mogu se na lak i brz način dijeliti i uspoređivati među stručnjacima, što pak omogućuje jednostavnije stvaranje poveznica i analogija s drugim lokalitetima. Dodatna prednost VR i AR tehnologije je i prezentacija brojnih digitalnih modela pažljivo i detaljno izrađenih u sklopu arheoloških istraživanja, a koji su objavljeni samo u obliku statičnih slika na stranicama specijaliziranih časopisa. Kroz virtualnu i proširenu stvarnost, ovi modeli mogu biti ponovno iskorišteni na način koji je interaktivan, ali i edukativan za širu javnost.

Digitalni model također predstavlja elektronički očuvani prikaz lokaliteta, spomenika ili nalaza koji ne podliježe promjenama ili razaranju.⁶⁸ Filippo Stanco i suradnici⁶⁹ smatraju da kulturnu baštinu ne smijemo uzeti zdravo za gotovo i moramo biti sigurni da ćemo ju moći

⁶⁵ *International Charter for the Conservation and Restoration of Monuments and Sites (The Venice Charter 1964)*, Ind International Congress of Architects and Technicians of Historic Monuments, Venice, 1964. (preuzeto sa: https://www.icomos.org/charters/venice_e.pdf)

⁶⁶ Gabellone, 2014., str. 83.-84.

⁶⁷ R. R. Cargill, *An Argument for Archaeological Reconstruction in Virtual Reality*, Near Eastern Archaeology, sv. 72, br. 1, 2009., str. 29.-30. Dalje u tekstu: Cargill, 2009.

⁶⁸ Tsifaki, Michailidou, 2015., str. 40.

⁶⁹ F. Stanco et al, *Virtual anastylosis of Greek sculpture as museum policy for public outreach and cognitive accessibility*, Journal of Electronic Imaging, sv. 26, br. 1, 2017. Dalje u tekstu: Stanco et al, 2017. (preuzeto sa: <http://electronicimaging.spiedigitallibrary.org/>)

bez problema prenijeti budućim generacijama. Destruktivne sile prirode više puta su demonstrirale kako lokaliteti mogu biti uništeni iznenada i u kratkom vremenskom roku (npr. ciklon koji je ošteti kompleks hramova u delti rijeke Irrawaddy u Burmi 2008. godine ili potres koji je 2016. godine u Italiji devastirao brojne crkve, bazilike i samostane). Ne smije se zaboraviti ni devastacija ljudskom rukom, kao što je na primjer sustavno uništavanje kulturne baštine i arheoloških spomenika od strane terorističkih skupina na području Iraka, Afganistana i Sirije u posljednjih 15 godina. U drugim pak zemljama s bogatom arheološkom baštinom postoji problem ilegalnog iskopavanja lokaliteta i crnog tržišta arheološkim artefaktima.⁷⁰ Digitalizacija i prezentacija kroz virtualnu i proširenu stvarnost, kao sve popularnije i široko primjenjene tehnologije, mogu biti dobar način širenja informacija i podizanja svijesti o navedenim problemima, ali i način očuvanja kulturne baštine za buduće generacije. Rekonstrukcija lokaliteta u virtualnoj ili proširenoj stvarnosti također je praktična i u promociji i prezentaciji nedostupnih nalazišta. Više je vrsta takvih lokaliteta: nalazišta na privatnim posjedima, lokaliteti s "nezgodnom" lokacijom do koje je teško doći (npr. podvodna i špiljskanalazišta) te lokaliteti na nesigurnim područjima (npr. ratna područja). Postoje također i lokaliteti koji su u potpunosti zatvoreni za javnost zbog osjetljivog stanja i pokušaja konzervacije (npr. Chauvet i Lascaux). S druge strane, tu su i lokaliteti kojima velik broj posjetitelja predstavlja ozbiljnu prijetnju, poput Herkulaneja i Pompeja.

Arheologija je vizualno bogata disciplina koja često koristi slike kao sredstvo komuniciranja kompleksnih ideja i informacija kroz niz medija.⁷¹ Međutim, u današnje vrijeme postoji potreba za istraživanjem novih, interaktivnijih načina prenošenja informacija o kulturnoj baštini mlađim generacijama, turistima i društvu općenito. Rabee Reffat i Eslam Nofal⁷² smatraju da virtualna i proširena stvarnost pružaju odličnu priliku kulturnim institucijama da primjene nove tehnologije i istraže njihov potencijal za edukaciju i povećanje interesa javnosti za kulturnu baštinu⁷³, te pri tom citiraju Sandersa: "*Prošlost se nije odvila u dvije dimenzije, pa se tako ne može učinkovito proučavati ni prenositi kao niz statičnih slika.*"⁷⁴ Muzeji godinama koriste ilustracije, videa, fizičke rekonstrukcije i sl. da posjetiteljima pomognu vizualizirati kako je prošlost mogla izgledati. Danas, kada je 3D modeliranje postalo

⁷⁰ Stanco et al, 2017.

⁷¹ Watterson, 2015., str. 119.

⁷² R. M. Reffat, E. M. Nofal, *Effective Communication with Cultural Heritage Using Virtual Technologies*, International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, sv. XL-5/W2, 2013., str. 519.-524. Dalje u tekstu: Reffat, Nofal, 2013.

⁷³ Reffat, Nofal, 2013., str. 519.

⁷⁴ D. H. Sanders, *Why Do Virtual Heritage?*, Zbornik radova konferencije *Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology*, 2006., str. 563.-572.

pristupačnije i ekonomičnije nego ikada prije, postoji novi medij kojim se može postići taj cilj. Novi programi poput *game engine*-a mogu lako stvoriti videa u 360 stupnjeva ili prikazati rekonstrukciju u virtualnoj stvarnosti, što je do prije samo nekoliko godina zahtijevalo teško i komplicirano programiranje, te je njihovo stvaranje bilo ograničeno isključivo na stručnjake iz područja računalnih znanosti. Virtualna i proširena stvarnost polako postaju masovni fenomen. Komercijalni setovi za virtualnu stvarnost na tržištu su već oko godinu dana (*HTC Vive*, *Sony PlaystationVR*, *Oculus Rift*, *Samsung Gear VR* i dr.), a proširenu stvarnost može koristiti svaka osoba koja posjeduje pametni telefon s mogućnošću njenog prikazivanja. Muzeji i institucije kulturne baštine sada mogu imati kompleksne 3D rekonstrukcije s boljim prikazima mnogo jeftinije nego prije.

4.1. Virtualna stvarnost i muzeji

Nisu svi predmeti u muzejima umjetnička djela, niti objekti od iznimne povijesne važnosti. Posjetiteljima može biti teško zainteresirati se za predmete koji nisu estetski privlačni niti od značajne važnosti te im također može biti teško samostalno interpretirati npr. predmete iz svakodnevne upotrebe. Jedan od načina da se posjetiteljima olakša razumijevanje tih predmeta, osim stručnog vodstva, je njihova kontekstualizacija.⁷⁵ Svaki arheolog je svjestan važnosti konteksta nalaza u arheološkim istraživanjima, ali kontekst je jednako važan i u prezentaciji nalaza u muzejima. Izlaganje samostalnog predmeta bez njegovog konteksta predstavlja vrlo uzak prozor u prošlost i otvara mogućnost krivim interpretacijama.⁷⁶ Najčešći princip kontekstualizacije je izlaganje predmeta s objektima slične namjene pronađenima na istom području i datiranim u isto vrijeme, uz kratka objašnjenja njihove svrhe i načina upotrebe u obliku tekstovnih kartica.

⁷⁵ M. A. Rey, M. van der Vaart, *Contextualizing Collections: Using Virtual Reality in Archeology Exhibitions*, *Exhibitionist*, sv. 32, br. 2, str. 73., 2013. Dalje u tekstu: Rey, van der Vaart, 2013.

⁷⁶ D. H. Sanders, *Virtual Archaeology and Museums: Where are the Exhibits?*, u: N. Franco (ur.), *Virtual Archaeology; proceedings of the VAST Euroconference, Arezzo, 24-25 November, 2000*, BAR, Oxford 2002., str. 187.-194. Dalje u tekstu: Sanders, 2002.



Slika 11: primjer tipične kontekstualizacije nalaza u muzejima; rimski alati za drvodjelstvo, 1.st.pr.Kr.-1.st., British Museum
Izvor: https://1.bp.blogspot.com/-OUz3z3lwoAM/U9-F0OM1D7I/AAAAAAAAAD48/1iaRO_6D6w/s640/DSCN1442.JPG
(pristup 31.7.2018.)

Neka istraživanja⁷⁷ su pokazala da je zanimanje posjetitelja za tekstualne kartice s objašnjenjima izloženih predmeta ograničeno te da je interes dulji što je izložba raznolikija. Druga metoda je fizička kontekstualizacija, npr. izlaganje rimskog kuhinjskog pribora u rekonstrukciji rimske kuhinje ili izlaganje kamenih utega na rekonstrukciji prapovijesnog tkalačkog stana. Iako je takav način prezentacije zanimljiv posjetiteljima, muzeji s ograničenim prostorom često ne mogu na taj način izložiti nalaze.⁷⁸

⁷⁷ S. Bitgood, D. Patterson, *The effects of gallery changes on visitor reading and object viewing time*, Environment and Behavior, sv. 25, br. 6, 1993. str. 761.-781. ili S. Bitgood, *The role of attention in designing effective interpretive labels*, Journal of Interpretation Research, sv. 5, br. 2, 2000., str. 31.-45.

⁷⁸ Rey, van der Vaart, 2013., str. 73.



Slika 12: primjer fizičke kontekstualizacije nalaza u Muzeju vučedolske kulture

Izvor: https://croatia.hr/sites/default/files/styles/image_full_width/public/2018-03/1_muzej-vucedolske-kulture-bojan-haron-markicevic.jpg?itok=KRbpIPP (pristup 31.7.2018.)

Jedno rješenje za taj problem predstavlja prezentacija 3D modela nalaza unutar digitalne simulacije njihovog originalnog konteksta (idealno u sklopu fizičke izložbe tih istih predmeta), gdje je jasno vidljiva njihova svrha i uloga u životima ljudi koji su ga koristili.

Muzejske izložbe temeljene na virtualnoj stvarnosti počele su se javljati sredinom 1980-ih i uskoro su razni muzeji počeli uklapati virtualne izložbe u svoje postave. Osoblje je vrlo brzo primjetilo da je s korištenjem virtualnih izložaka došla i povećana posjećenost, veća medijska izloženost i nov način za edukaciju javnosti. Nažalost, sredinom 90-ih godina razvoj virtualne stvarnosti stagnira i sve manje muzeja koristi virtualne izložke. U kasnim 90-ima i ranim 2000-ima u muzejima se počinju javljati računala s dodatnim informacijama o izlošcima koje bi posjetitelji mogli sami proučavati (tzv. informacijski kiosci), ali ta računala su uglavnom bila odvojena od samih izložaka, imala su programe s velikim količinama teksta i 2D slikama i uglavnom su više ličila knjigama.⁷⁹

⁷⁹Sanders, 2002., str. 188.-189.



Slika 13: primjer informacijskog kioska u muzeju

Izvor: http://saubag.com/en/wp-content/uploads/2013/08/IMG_1477-538x218.jpg (pristup 31.7.2018)

Za razliku od 80-ih i 90-ih godina prošlog stoljeća, danas je većina posjetitelja informatički pismena i postaje sve više tehnološki sposobna i svjesna, a samim time i zahtjevnija. Mlađe generacije posjetitelja odrastale su na interaktivnim medijima i internetu. Na kraju krajeva, danas živimo u svijetu instantog pristupa informacijama i povezanosti na svjetskoj razini. S druge strane izložbe nisu postale kontroverznije ni izazovnije s obzirom na tehnologiju kojom su izložci predstavljeni. Očekivanja javnosti su dramatično porasla od prvih dana virtualne stvarnosti i to uglavnom zbog utjecaja specijalnih efekata u filmovima i vrhunske grafike u računalnim igrama.

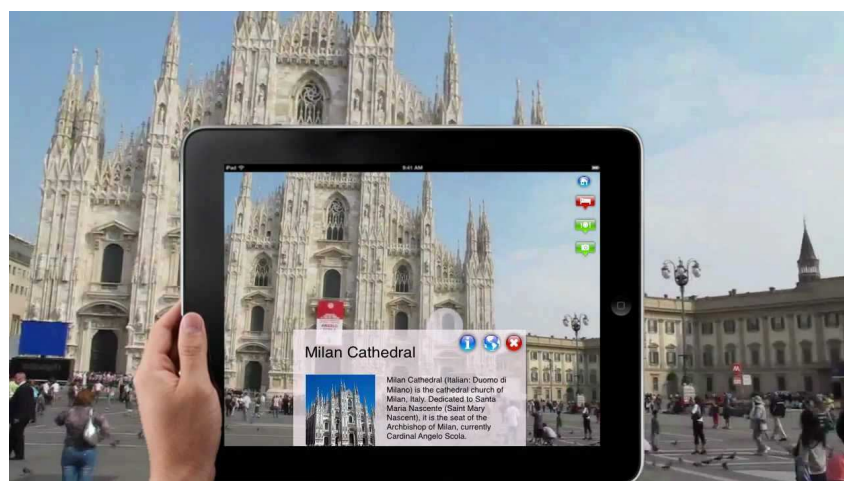
Prema Sandersu, tzv. puristi vjeruju da je glavna dužnost muzeja prema njegovoj kolekciji, a ne prema posjetiteljima ili sponzorima, te da je artefakt glavni razlog za postojanje muzeja.⁸⁰ S druge strane može se reći da muzeji imaju i obavezu privlačenja i educiranja javnosti, te da je jedna od njihovih glavnih uloga promocija povijesti, arheologije i kulturne baštine kroz stvaranje zanimljivih i inovativnih izložbi o nalazima i predmetima koje čuvaju. Digitalna rekreacija davno nestalih mjesta i ljudi u virtualnoj stvarnosti može biti iznimno uzbudljivo iskustvo svakom posjetitelju i pomoći u stvaranju interesa i podizanju svijesti o arheologiji kod mladih generacija.

4.2. Proširena stvarnost i prezentacija lokaliteta in situ

Arheološki ostatci u urbanim područjima često su uklopljeni u već postojeći krajolik grada ili sakriveni ispod modernih građevina te zbog toga posjetitelji teško mogu zamisliti kako je grad izgledao u dalekoj prošlosti. Na nalazištima se također često moogu vidjeti samo ostatci

⁸⁰ Sanders, 2002., str. 190.

građevina (temelji, dio zidova i sl.), pa je posjetiteljima često teško povezati ruševine s njihovim pretpostavljenim izgledom u prošlosti. Uz pomoć proširene stvarnosti koja se danas može koristiti na gotovo bilo kojem pametnom telefonu moguće je ljudima pomoći da lakše vizualiziraju originalni izgled arheoloških ostataka.⁸¹ Cilj aplikacija s proširenom stvarnosti u kontekstu kulturne baštine je da pomognu posjetiteljima razumjeti lokalitet koji posjećuju i omogućiti im da usporede razliku između sadašnjeg stanja objekta i virtualnog prikaza njegovog izgleda u prošlosti.⁸² Proširena stvarnost ima potencijal da promijeni način na koji posjetitelji promatraju i uče o izlošcima u muzeju ili na arheološkom lokalitetu. Dosad najpopularniji oblik primjene proširene stvarnosti u arheologiji bio je kroz izradu aplikacija koje posjetiteljima služe kao personalizirani vodič kroz lokalitet i koji pruža dodatne informacije o dijelovima koji ih posebno zanimaju te stvara turu na temelju njihovih interesa.⁸³



Slika 14: primjer turističke aplikacije proširene stvarnosti

Izvor: <https://static.thinkmobiles.com/uploads/2017/11/ar-tourism.jpg> (pristup 31.7.2018.)

Proširena stvarnost ima veliki potencijal za *in-situ* prezentaciju lokaliteta. Na primjer, problem *in-situ* prezentacije prapovijesnih lokaliteta je nedostatak očuvanih površinskih struktura. Sve što posjetitelji mogu vidjeti uglavnom je prazno polje, brežuljak ili livada, uz

⁸¹ A. Bernardini, L. Constantini, C. Delogu, E. Pallotti, *Living the Past: Augmented Reality and Archaeology*, Zbornik radova konferencije *IEEE Multimedia and Expo Workshops*, 2012., str. 354.

⁸² E. Durand, F. Merienne, C. Pere, P. Callet, *Ray-on, an On-Site Photometric Augmented Reality Device*, Journal on Computing and Cultural Heritage (JOCCH) - Special Issue on Interacting with the Past, sv. 7, br. 2, 2014. (preuzeto sa: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01143376/document>)

⁸³ T. Wolfenstetter, *Applications of augmented reality technology for archaeological purposes*, München, 2007. str. 3.

iznimku lokaliteta na kojima postoje fizičke rekonstrukcije građevina. No i takve fizičke rekonstrukcije obično su malih razmjera i ne dočaravaju u potpunosti izgled prapovijesnih naselja. To predstavlja veliki izazov za širenje svijesti o važnosti očuvanja tih lokaliteta kod javnosti. Masovno korištenje pametnih telefona stvorilo je cijeli niz novih opcija za njihovu prezentaciju. Naime, uz pomoć aplikacija proširene stvarnosti kroz kombinaciju virtualnog i stvarnog okruženja moguće je na jednostavan način prezentirati takva nalazišta, čak i u slučajevima kada su istraživana prije mnogo godina, kada digitalna dokumentacija nije postojala.⁸⁴ Ovakav način prezentacije također odgovara i zaštitnim iskopavanjima, čiji se rezultati uglavnom iznose samo kao izvještaji u nadležnim institucijama, a prezentacija lokaliteta *in-situ* nije moguća standardnim načinima. Vizualizacija i prezentacija lokaliteta uz pomoć proširene stvarnosti pomaže u približavanju nestručne javnosti profesionalnoj arheologiji i podizanju svijesti o vrijednosti kulturne baštine i potrebe za njenim očuvanjem.⁸⁵



Slika 15: prijedlog prezentacije hipotetskog prapovijesnog lokaliteta u proširenoj stvarnosti, projekt Dead Man's Eyes
Izvor: <https://i1.wp.com/www.dead-mens-eyes.org/wp-content/uploads/2010/03/leskernick-landscape-no-masks-clipped.jpg> (pristup 31.7.2018.)

5. Povijest virtualne stvarnosti u arheologiji

5.1. *Virtual Ancient Egypt* (1993.) i *Virtual Pompeii* (1996.)

⁸⁴ J. Unger, P. Kvetina, *An On-Site Presentation of Invisible Prehistoric Landscapes*, Internet Archaeology 43, 2017. (preuzeto sa: <http://intarch.ac.uk/journal/issue43/13/index.html>) Dalje u tekstu: Unger, Kvetina, 2017.

⁸⁵ Unger, Kvetina, 2017.

Sredinom 90-ih godina, s pojavom jeftinijih osobnih računala na tržištu započinje i eksperimentiranje s virtualnom stvarnosti i njenim novim primjenama, budući da je komercijalno do tada uglavnom bila korištena u zabavne svrhe, prvenstveno za video igre. Među prvim rekonstrukcijama arheoloških lokaliteta u virtualnoj stvarnosti ubrajaju se izložbe *Virtual Ancient Egypt* i *Virtual Pompeii*. Izložba *Virtual Ancient Egypt: Temple of Horus* održana je prvi put 1994. godine u Guggenheim muzeju.⁸⁶ Prikazuje 3D rekonstrukciju Horusovog hrama u Edfu izrađenu uz pomoć fotografija uzetih s iskopavanja.⁸⁷ U rekonstrukciju su također uklopljene digitalizirane umjetnine koje pripadaju hramu, a nalaze se u muzejima i privatnim kolekcijama diljem svijeta.⁸⁸ Klikom na određeni dio hrama aktivirale su se animacije s informacijama o hramu. Tura je prezentirana uz pomoć *head mounted display*-a te velikog ekrana na kojem se projicirao sadržaj koji je korisnik vidio kroz HMD, kako bi više posjetitelja moglo gledati rekonstrukciju istovremeno.⁸⁹



Slika 16: Isječak iz izložbe *Virtual Ancient Egypt*, 1993.
Izvor: <https://vimeo.com/25038124> (pristup 1.8.2018.)

Izložba *Virtual Pompeii* prvi put je prikazana 1995. godine u muzeju De Young. Rekonstruiran je tzv. Trokutasti forum u Pompejima s ostacima velikog dorskog hrama i tržnicom, te Izidin

⁸⁶ O. Grau, *Virtual Art: From Illusion to Immersion*, London, 2003., str. 174. Dalje u tekstu: Grau, 2003.

⁸⁷ Grau, 2003., str. 174.

⁸⁸ Zengerle, 1993.

⁸⁹ <http://studioforcreativeinquiry.org/projects/the-networked-virtual-art-museum> (pristup 25.9.2017.)

hram i ulica koja vodi do njega.⁹⁰ Tura je prezentirana na isti način kao i izložba *Virtual Ancient Egypt*: uz pomoć *head mounted display*-a i projekcijskog ekrana.



Slika 17: Isječak iz izložbe *Virtual Pompeii*, 1996.
Izvor: <https://vimeo.com/25042731> (pristup 1.8.2018.)

5.2. Grobnica *Sen-nedjem* (1998.)

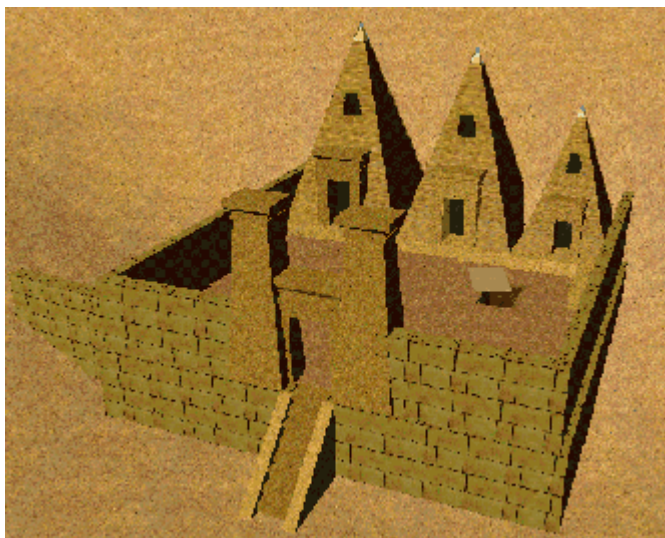
1998. godine pokrenut je projekt na Institutu za humanističke znanosti, informacije i tehnologiju Sveučilišta u Glasgowu čiji je cilj bio istražiti isplativost i praktičnost korištenja virtualne stvarnosti za prezentaciju arheoloških 3D modela u muzejima.⁹¹ Bio je to prvi projekt koji je istraživao potencijal virtualne stvarnosti specifično za primjenu u arheološkim muzejima.

Za potrebe projekta izrađen je 3D model egipatske grobnice *Sen-nedjem*. Rekonstrukcija je trebala biti prezentirana u Kelvingrove muzeju u Glasgowu u sklopu egipatske zbirke, no zbog tehničkih problema na kraju nije implementirana. Naime, kustos muzeja odabrao je grobnicu *Sen-nedjem* za rekonstrukciju i prezentaciju, ali prilikom izrade modela pokazalo se da je postojeća dokumentacija o istraživanjima grobnice nedovoljna da bi se izradila pouzdana

⁹⁰ J. Vadal, *Virtual Antiquity*, Archaeology, sv. 48, br. 5, 1995., str. 70

⁹¹ M. M. Terras, *A Virtual Tomb for Kelvingrove: Virtual Reality, Archaeology and Education*, Internet Archaeology 7, 1999. (preuzeto sa: http://intarch.ac.uk/journal/issue7/terras_index.html) Dalje u tekstu: Terras, 1999.

rekonstrukcija, pa je samim time njena edukativna komponenta postala upitna.⁹² Osim toga, prilikom prvotnog testiranja instalacije zaključeno je da dizajn nije zadovoljavajuć. Naime, prilikom svakog klika na računalu za renderiranje modela na ekranu trebalo se čekati 5 minuta, što nije bilo prihvatljivo u kontekstu muzejske instalacije. Čini se da za ono vrijeme snaga komercijalnih računala još uvijek nije bila dovoljna za normalno prikazivanje virtualne stvarnosti. Uzmimo za primjer ovaj citat: *"Puni model sadrži jako velike datoteke, sveukupno 20MB (...) pa je moguće da će većini računala trebati dugo da ih učitaju."*⁹³ Iz današnje perspektive, kada se veličina 3D modela mjeri u gigabajtima, ovo možda zvuči smiješno, ali u kasnim 90-ima komercijalna računala nisu imala toliku procesorsku moć niti velike količine radne memorije, a kupovanje "superračunala" samo za potrebe jedne instalacije svakako je bilo neisplativo. Također, prilikom prvotnih testiranja zaključeno je da je posjetiteljima bilo komplicirano koristiti se sučeljem⁹⁴ (s jedne strane "krivnja" za to možda leži na dizajnerima koji su ga izradili, ali svakako treba uzeti u obzir i to da ovo još uvijek nije vrijeme u kojem je korištenje računalom bila svakodnevna stvar).



Slika 18: virtualna rekonstrukcija grobnice Sen-nedjem
Izvor: http://intarch.ac.uk/journal/issue7/terras_index.html (pristup 1.8.2018.)

Čini se kako ovaj projekt zorno prikazuje sve poteškoće s kojima su se muzeolozi, programeri i arheolozi susretali u izradi rekonstrukcija virtualne realnosti za muzejske instalacije, pa nije

⁹² Terras, 1999.

⁹³ Ibid.

⁹⁴ Ibid.

ni čudo da od tura *Virtual Ancient Egypt* i *Virtual Pompeii* dugo vremena neće biti rekonstrukcija u potpuno imerzivnoj virtualnoj stvarnosti. Ukratko, u ovom razdoblju razvoja i eksperimentacije s virtualnom stvarnosti zaključeno je da su takve rekonstrukcije još uvijek nezgrapne i preskupe za redovnu implementaciju unutar muzejskih izložbi.

5.3. Troia VR (2001.)

Znanstvenici sa sveučilišta u Tubingenu pokrenuli su 2001. godine projekt pod nazivom *Virtual Archaeology* suradnji s njemačkim Institutom za arheologiju i digitalnim studijem ART+COM AG. Ciljevi projekta bili su: razviti softverski alat za izradu arheoloških rekonstrukcija u virtualnoj stvarnosti, otkriti na koje načine se takve rekonstrukcije mogu koristiti unutar arheoloških istraživanja i istražiti marketinški potencijal arheoloških rekonstrukcija u virtualnoj stvarnosti.⁹⁵

Izrađena je rekonstrukcija Troje II, VI i VII na temelju dokumentacije s arheoloških iskopavanja koja su do tada provedena na lokalitetu. Rekonstrukcija je prvi put predstavljena u Muzeju umjetnosti u Bonnu u studenom 2001. godine.⁹⁶ Instalacija se sastojala od grafičkog sučelja s dodirnim zaslonom preko kojeg su korisnici navigirali kroz prikaze na velikom platnu.⁹⁷ Osim rekonstrukcija građevina, izrađene su i kratke animacije koje su prikazivale život na lokalitetu: ratnici u kočiji, ljudi koji ispijaju vino iz Depas-šalice u glavnom megaronu Troje II, te filozofi koji raspravljaju o legendama iz Trojanskog rata pred Ateninim hramom unutar faze Troja VIII. Kako bi se pokazala razlika između istraženih ostataka i slobodnih rekonstrukcija, prikaz svakog modela koji nije bio temeljen na stvarnom tlocrtu sa arheoloških iskopavanja mogao se isključiti na prezentaciji. Osim toga, autori su u prezentaciju uključili i stvarnu arheološku dokumentaciju (fotografije sa iskopavanja, tlocrte, prostorni raspored nalaza unutar građevina i sl.).⁹⁸

⁹⁵ Jablonka, Kirchner, Serangeli, 2003., str. 13.

⁹⁶ Ibid., str. 14.

⁹⁷ Ibid., str. 15.

⁹⁸ Ibid., str. 16.



Slika 19: prezentacija Troia VR na izložbi u Muzeju umjetnosti u Bonnu, 2001.

Izvor: P. Jablonka, S. Kirchner, J. Serangeli, TroiaVR: A Virtual Reality Model of Troy and the Troad, Zbornik radova konferencije Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology, 2002., str. 14.

Prilikom izložbe autori su promatrali interakciju posjetitelja s instalacijom kako bi dobili bolji uvid u zadovoljstvo korisnika s izložbom. Iz njihovih saznanja vidljivo je kako, za razliku od danas, većina posjetitelja nije u potpunosti razumjela niti pokušala iskoristiti puni potencijal predstavljenog sistema. Činilo se kako je šira publika preferirala unaprijed izrađene animacije ili videa slična filmovima od interaktivnog sistema samostalnog obilaska i otkrivanja lokaliteta kakav su autori zamislili. Čak su i vodiči, koji su prošli obuku i savladali cijelo sučelje, često stali na jednom mjestu unutar virtualne rekonstrukcije i koristili laserski pokazivač na nepomičnoj slici koja je prikazivala određeni dio lokaliteta. Kao što su autori i očekivali, mlađe generacije bile su vještije i zainteresiranije za samostalno kretanje kroz grafičko sučelje, što se dijelom vjerojatno može pripisati i tome što ih je većina odrastala ili se barem susrela sa interaktivnim 3D video igrama koje su se na tržištu prvi put pojavile tokom 90-ih godina i odmah postale hit. Autori su, promatrajući posjetitelje i njihovo iskustvo, zaključili kako će sistemi virtualne stvarnosti postati u potpunosti prihvaćeni tek kada kvaliteta grafike dosegne nivo koji korisnici poznaju i očekuju od specijalnih efekata korištenih na filmu.⁹⁹ Možemo reći da se ovo predviđanje pokazalo relativno točnim, budući da je popularnost tehnologije virtualne stvarnosti rasla s porastom kvalitete grafike koju VR uređaji mogu prikazati.

⁹⁹ Ibid., str. 15.

5.4. ARCHAVE (2001.)

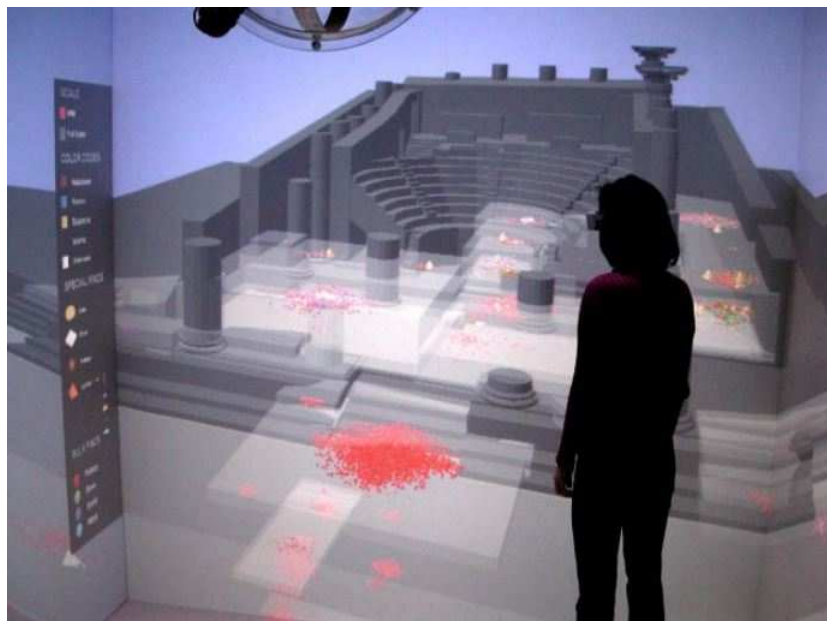
Tijekom arheoloških iskopavanja na lokalitetu Petra u Jordanu krajem 1999. godine računalni znanstvenici u suradnji s arheolozima sa Sveučilišta Brown započeli su razvoj ARCHAVE-a, sistema imerzivne virtualne stvarnosti namjenjenog za arheološka istraživanja. Cilj projekta bio je istražiti u kojoj mjeri bi takav sistem pomogao arheolozima u analizi kompleksnih prostornih veza između nalaza, arhitekture i stratigrafije nalazišta.¹⁰⁰

Kako bi takva analiza bila moguća, izrađena je realistična 3D reprezentacija lokaliteta u stvarnoj veličini s naglaskom na već istražena područja. Također je izrađena i minijaturna verzija punog modela za potrebe pregleda širih ili različitih udaljenih područja na lokalitetu. Kako bi se korisnici mogli koncentrirati na prostorni raspored nalaza na lokalitetu, teksture su uklonjene s modela i obojane u sivo, dok su nalazi prikazani u različitim žarkim bojama zbog lakše vizualizacije. Tijekom istraživanja izrađena je detaljna baza podataka u kojoj su zabilježeni svi nalazi od samog početka iskopavanja 1993. godine i koja je uklopljena u ARCHAVE sistem. Svi nalazi iz baze podataka mogli su se prikazati u virtualnom okolišu na mjestu njihovog pronalaska. Osim trodimenzionalnog okoliša, izrađen je dvodimenzionalni plan lokaliteta koji se projicirao na podu.¹⁰¹ Arheolozi su igrali ključnu ulogu u izradi sistema jer su, testirajući svaki njegov prototip, developerima pružali povratne informacije koje su bile neophodne za daljnji razvoj aplikacije.¹⁰²

¹⁰⁰ D. Acevedo, E. Vote, D. H. Laidlaw, M. S. Joukowsky, *Archaeological data visualization in VR: analysis of lamp finds at the great temple of Petra, a case study*, Zbornik radova konferencije IEEE VIS 2001., str. 493. Dalje u tekstu: Acevedo et. al, 2001.

¹⁰¹ Acevedo et. al, 2001., str. 494.-495.

¹⁰² E. Vote, D. A. Feliz, D. H. Laidlaw, M. S. Joukowsky, *Discovering Petra: Archaeological Analysis in Virtual Reality*, IEEE Computer Graphics and Applications, sv. 22, br. 5, 2002., str. 38.-50. Dalje u tekstu: Vote et. al, 2002.



Slika 20: ARCHAVE

Izvor: E. Vote, D. A. Feliz, D. H. Laidlaw, M. S. Joukowsky, *Discovering Petra: Archaeological Analysis in Virtual Reality*, IEEE Computer Graphics and Applications, sv. 22, br. 5, 2002., str. 11.

ARCHAVE je izrađen za CAVE sistem sa projekcijama na zidovima i podu. Korisnici su morali nositi naočale sa LCD zaslonom, a navigacija se vršila uz pomoć rukavice s osjetnicima za određivanje položaja ruke i pokreta prstiju.¹⁰³ Nakon testiranja završne verzije sistema, ispitanici (redom arheolozi koji su sudjelovali na iskopavanjima lokaliteta) su se složili da im je iskustvo virtualne stvarnosti izmijenilo percepciju lokaliteta tako što su po prvi put na jednom mjestu mogli promatrati prostorni raspored svih nalaza i uklopiti rezultate iz prošlih sezona istraživanja (na kojima možda nisu ni sudjelovali) u cjelovitu sliku lokaliteta. Na taj način mogli su testirati već postojeće teze o lokalitetu, ali i formirati nove.¹⁰⁴ Na primjer, prilikom pregleda nalaza lampi na centralnom stubištu zaključeno je da postoji potreba za revizijom zaključaka iz sezone istraživanja u kojoj su iskopani, budući da se tadašnja prihvaćena razmatranja nisu poklapala sa cjelovitom slikom nekoliko godina kasnije.¹⁰⁵ Također je postavljena nova hipoteza o nalazima metalnih fragmenata na lokalitetu: uočeno je da su uglavnom pronalazeni unutar prizemnog stratigrafskog sloja i predloženo je da bi nalazi mogli odgovarati položaju vrata ili prozora (prilikom razgradnje drvenih vrata ili prozora, njihovi metalni dijelovi ponekad ostanu sačuvani).¹⁰⁶

¹⁰³ Acevedo, et. al, 2001., str. 494.

¹⁰⁴ Vote et. al, 2002., str. 49.

¹⁰⁵ Acevedo, et. al, 2001., str. 496.

¹⁰⁶ Vote et. al, 2002., str. 48.

Sistem je omogućio arheolozima da postavljaju nova pitanja o lokalitetu, navigiraju i istražuju ga na nov način, te da sagledaju cjelovitu sliku svih stratigrafskih slojeva na jednom mjestu. Autori smatraju da ovaj način rada omogućuje i lakšu suradnju više znanstvenika i dijeljenje podataka između udaljenih lokaliteta u svrhu stvaranja novih analogija.¹⁰⁷

5.5. *Etruscanning 3D* (2011. -2013.)

Etruscanning 3D je projekt pokrenut 2011. godine u kojem su sudjelovali muzeji i institucije iz Nizozemske, Belgije, Njemačke i Italije, a cilj je bila digitalna restauracija i 3D reprezentacija dviju poznatih etrušćanskih grobnica na izložbama u Nizozemskoj, Belgiji i Njemačkoj i kroz stalne instalacije u talijanskim muzejima. U sklopu projekta izrađene su virtualne rekonstrukcijegrobnice Regolini-Galassi, jedne od najbogatijih etrušćanskih grobnica iz Cerveterija te groba ratnika u grobnici br. 5 u nekropoli Monte Micheli u Veiju. Iako su grobnice prezentirane na razičite načine, naglasak je kroz cijeli projekt bio na kontekstualizacijinalaza.¹⁰⁸

Grobnica Regolini-Galassi, otkrivena 1836. godine, danas je u potpunosti prazna i zatvorena za posjetitelje, budući da se nalazi u privatnom vlasništvu, a predmeti pronađeni u njoj nalaze se u Vatikanskim muzejima. Datirana je oko 675.-650. g. pr. Kr. i jedna je od najbogatijih etrušćanskih grobnica orijentalizante perioda. U grobnici su otkriveni kosturni ostaci žene visokog staleža i kremirani ostaci muškarca za kojeg se pretpostavlja da je bio ratnik. Oboje su bili pokopani s mnoštvom zlatnih, srebrnih i brončanih predmeta (štitovi, nakit, posude, pribor za jelo i dr.). Predmeti su digitalizirani uz pomoć fotogrametrije, a sama grobnica upotrebom laserskog skenera. Od softvera su korišteni *3D Studio Max*, *Blender*, *Autodesk Photofly/123D Catch*, *Agisoft Photoscan* i *ARC3D Web Service* za izradu 3D modela te *Unity 3D* za završnu obradu.¹⁰⁹

Cilj virtualne rekonstrukcije bio je da posjetiteljima dočara izgled etrušćanske grobnice onako kako je izgledala na dan kada je zapečaćena te ih upozna sa pogrebnim običajima Etrušćana. Autori su pokušali postići "filmski" ugođaj korištenjem dramatičnog osvjetljenja i glazbe, a

¹⁰⁷ Ibid., str. 50.

¹⁰⁸ E. Pietroni, A. Adami, *Interacting with Virtual Reconstructions in Museums: The Etruscanning Project*, Journal on Computing and Cultural Heritage (JOCCH) - Special Issue on Interacting with the Past, sv. 7. br. 2., 2014. (preuzeto sa: https://re.public.polimi.it/retrieve/handle/11311/1026941/212083/33_JOOCH%202014.pdf)

Dalje u tekstu: Pietroni, Adami, 2014.

¹⁰⁹ Pietroni, Adami, 2014.

posjetitelje su kroz grobnicu vodili glasovi "princeze i ratnika" koji im iz perspektive Etrušćanina pričaju o svojim pogrebnim običajima i vjerovanjima. Instalacija je trajno postavljena u Vatikanskim muzejima, a predmeti iz grobnice izloženi su pored virtualne rekonstrukcije koja je prikazana na ekranu. Posjetitelj se unutar virtualne aplikacije kreće uz pomoć gesti rukama (npr. podizanjem ruke ravno ispred sebe posjetitelj se kreće ravno naprijed), što omogućuje tehnologija senzora *Microsoft Kinect*.¹¹⁰



Slika 21: korisničko sučelje virtualne rekonstrukcije grobnice Regolini-Galassi

Izvor: ¹ E. Pietroni, A. Adami, *Interacting with Virtual Reconstructions in Museums: The Etruscanning Project*, *Journal on Computing and Cultural Heritage (JOCH)* - Special Issue on Interacting with the Past, sv. 7. br. 2., 2014., str. 17.

Tijekom iskopavanja nekropole Monte Micheli 1980-ih godina otkriveno je šest grobnica s očuvanim pogrebnim predmetima. Grobnica br. 5 je kneževska grobnica datirana također u orijentalizante period, između 670. i 650. g. pr. Kr. U glavnoj odaji grobnice s lijeve strane identificiran je ukop ženske osobe visokog staleža s bogatim nakitom i keramikom, a s desne strane pronađena je bogato ukrašena urna s ostatcima odraslog muškarca položena na ostatcima pogrebne kočije. Pored urne pronađen je set oružja (bodež i vrhovi koplja) i žezlo. Kao i kod grobnice Regolini-Galassi, predmeti su digitalizirani uz pomoć fotogrametrije i programa *Agisoft Photoscan*, a grobnica uz pomoć laserskog skenera. Modeli su obrađeni u *Unity 3D* programu i kasnije kroz *3D Studio Max* i *VRay* optimizirani i oblikovani u film.¹¹¹

¹¹⁰ Ibid.

¹¹¹ Ibid.

Kod rekonstrukcije grobnice broj 5 cilj je bio posjetiteljima dočarati metodološke procese arheološkog iskopavanja, konzervacije i rekonstrukcije. Zbog loše očuvanosti grobnice korisnicima bi se bilo teško snaći u virtualnom modelu, pa je sistem slobodnog kretanja kroz virtualni okoliš odbačen u korist kratkih filmova. Prikazan je snimak grobnice u njenom sadašnjem stanju, zatim virtualni model grobnice te na kraju rekonstrukcija grobnice onako kako je mogla izgledati u trenutku kad je zapečaćena. Kao i kod rekonstrukcije Regolini-Galassi, predmeti iz grobnice izloženi su pored virtualne rekonstrukcije.¹¹²

Kroz ankete i fokusne grupe zaposlenici muzeja zaključili su da je za angažman i imerziju posjetitelja u virtualnu aplikaciju potreban intuitivan dizajn i jednostavno korisničko sučelje, visoka kvaliteta 3D modela te integracija virtualne vizualizacije sa fizičkim predmetima s kojima je povezana.¹¹³

5.6. *Marine VR Cave* (2015.)

Brodolom Mazotos otkriven je 2006. godine, a arheolozi sa Sveučilišta u Cipru počeli su njegovo istraživanje 2007. godine. Brodolom se nalazi na dubini od oko 44 m i veoma je značajan; naime, to je prvi brodolom iz kasnog 4. st. pr. Kr. pronađen na jugoistočnom Mediteranu na dubini na kojoj je moguće arheološko istraživanje. Prvotnim rekognosciranjem i mapiranjem lokaliteta utvrđeno je da je brodolom prevezio amfore s otoka Hija te ih je samo na površini izbrojano oko 500. Podvodna iskopavanja započela su 2010. godine.¹¹⁴

Podvodni lokaliteti su uglavnom teško dostupni, pa je tako i postupak iskopavanja zahtjevan, oduzima mnogo vremena i zahtjeva istraživače s ronilačkom obukom i posebnu opremu. Na brodolomu Mazotos, na primjer, moguće je efektivno raditi 20 minuta prije nego što ronionci moraju izroniti, a iskopavanje se vršilo vertikalno i u malim kvadrantima, što je otežavalo prostorno povezivanje nalaza te formiranje generalnog pregleda lokaliteta. Da bi se lokalitet pravilno interpretirao, potrebno je doživjeti ga u cijelosti, i to ne samo njegove nalaze, već i procese formiranja i njegovu stratigrafiju.¹¹⁵

¹¹² Ibid.

¹¹³ Rey, van der Vaart, 2013., str. 76.-78.

¹¹⁴ A. Demetriou, *The Mazotos Shipwreck Project in Cyprus*, Potopljena baština – godišnjak Međunarodnog centra za podvodnu arheologiju u Zadru, br. 2, Zadar, 2012., str. 25.

¹¹⁵ I. Katsouri, A. Tzanavari, K. Herakleous, C. Poullis, *Visualizing and Assessing Hypotheses for Marine Archaeology in a VR CAVE Environment*, Journal on Computing and Cultural Heritage, sv. 8, br. 2, 2015.

Računalni znanstvenici s Tehnološkog fakulteta u Cipru u suradnji s arheolozima na projektu Mazotos razvili su aplikaciju virtualne stvarnosti za CAVE sistem s ciljem da istraže potencijal virtualne stvarnosti kao pomoćnog alata u podvodnim arheološkim iskopavanjima. Kroz dokumentaciju prikupljenu prilikom iskopavanja izrađen je virtualni okoliš za vizualizaciju lokaliteta kako bi se lakše i brže testirale hipoteze o promjenama visine morskog tla tokom različitih stadija formacije nalazišta. Aplikacija omogućuje imerzivnu trodimenzionalnu vizualizaciju stratigrafije lokaliteta i prostornog rasporeda nalaza, uz mogućnost direktnog uspoređivanja sa fotografijama, crtežima i planovima s iskopavanja unutar aplikacije. Implementirana je unutar CAVE sistema s četiri projekcijska ekranauz korištenje 3D naočala s tehnologijom praćenja pokreta glave. Testirali su je arheolozi koji su sudjelovali na istraživanju brodoloma te su nakon korištenja aplikacije dali svoja mišljenja o njenim prednostima i manama u kontekstu arheološkog istraživanja.¹¹⁶



Slika 22: testiranje aplikacije virtualne stvarnosti na projektu Mazotos

Izvor: I. Katsouri, A. Tzanavari, K. Herakleous, C. Poullis, *Visualizing and Assessing Hypotheses for Marine Archaeology in a VR CAVE Environment*, *Journal on Computing and Cultural Heritage*, sv. 8, br. 2, 2015., str. 12.

Svi ispitanici su se složili da je aplikacija korisna za proces interpretacije i testiranja hipoteza, pošto omogućavapromatranje velike količine kompleksnih podataka i nov način njihove vizualizacije. Istaknuli su kako se zaključci o lokalitetu ne bi smjeli bazirati isključivo na

(preuzeto sa: <https://pdfs.semanticscholar.org/0f7b/452e21a2a181562f9dc9176caec75da336f8.pdf>) Dalje u tekstu: Katsouri et. al, 2015.

¹¹⁶ Katsouri et. al, 2015.

temelju aplikacije, već bi se trebali formirati u korelaciji s fizičkim dokazima i ostalom dokumentacijom s istraživanja. Smatraju da je velika prednost mogućnost istovremenog promatranja i uspoređivanja više vrsta podataka u istom okruženju te da osjećaj imerzije i prisustva na samom lokalitetu uvelike pomaže u stvaranju perspektive i shvaćanju prostornih veza između nalaza. Istaknuli su korisnost ovakvog pristupa u treniranju novih podvodnih arheologa, ali i mogućnost novemetode pripremanja i planiranja zarona tijekom istraživanja.¹¹⁷

5.7. Ullastret 3D (2017.)

Iberski grad Ullastret živio je od 6. do 2. st. pr. Kr. Nalazi se u Kataloniji u Španjolskoj i jedan je od najpoznatiji španjolskih željeznodobnih lokaliteta. Sistematično se istražuje od 1952. godine, ali tek su nedavna istraživanja, prvenstveno zahvaljujući novim tehnologijama geofizičke prospekcije, dala dovoljno podataka o planu grada i njegovim obrambenim i urbanim strukturama za izradu 3D virtualne rekonstrukciju određenog razdoblja u povijesti (oko 250. g.pr. Kr.) za koji je prikupljeno najviše informacija.¹¹⁸

Za izradu virtualne rekonstrukcije bio je potreban multidisciplinarni tim arheologa, grafičkih dizajnera, arhitekata, antropologa i geologa. Velika pozornost posvećena je povijesnoj i arheološkoj točnosti predstavljene rekonstrukcije i raznim detaljima; autori nisu htjeli stvoriti model praznog sterilnog grada, već realističnu rekonstrukciju prostora u kojem su ljudi živjeli i okoliša unutar kojeg se on nalazio. Prilikom izrade modela posebno su se pratile smjernice Londonske povelje, aza te potrebe korišteni su programi *Cinema 4D*, *Studio Max*, *Maya* i *Unreal Engine*, te se pokušala doseći fotorealistična kvaliteta grafike.¹¹⁹

¹¹⁷ Ibid.

¹¹⁸ A. Sierra, G. de Prado, I. Ruiz Soler, F. Codina, *Virtual reality and archaeological reconstruction: be there, back then*, Zbornik radova konferencije *Museums and the Web*, 2017. (preuzeto sa: <https://mw17.mwconf.org/paper/virtual-reality-and-archaeological-reconstruction-be-there-be-back-then-ullastret3d-and-vr-experience-in-htc-vive-and-immersive-room/>) Dalje u tekstu: Sierra et. al, 2017.

¹¹⁹ Sierra et. al, 2017.



Slika 23: isječak iz virtualne rekonstrukcije iberskog grada Ullastreta

Izvor: http://imatges.elpunt.net/imatges/54/63/alta/780_0008_5463561_2484a1a1d8e7ef7f62e29b4063f43244.jpg
(pristup 1.8.2018.)

Rekonstrukcija je prikazana na 2 različita načina: unutar CAVE sistema i uz pomoć *HTC Vivehead mounted display*-a. Autori smatraju da je prezentacija arheoloških rekonstrukcija unutar virtualne stvarnosti odličan način za podizanje svijesti o kulturnoj baštini, ali upozoravaju da je to ipak novi alat koji se još uvijek razvija i za kojeg se još uvijek stvaraju smjernice za upotrebu u kontekstu kulturne baštine.¹²⁰

5.8. *Lithodomos VR* (2017.)

Lithodomos VR je australska tvrtka osnovana 2017. godine koja se bavi stvaranjem sadržaja za virtualnu stvarnost u turističke i edukativne svrhe, a prvenstveno stvaranjem rekonstrukcija poznatih arheoloških lokaliteta u virtualnoj stvarnosti. Tvrtku su osnovali arheolozi Dr. M. Hamdi Kan i Dr. Simon J. Young u suradnji s poduzetnikom Tonyjem Simmonsom u želji da primjene svoje znanje o arheologiji, fotogrametriji i 3D modeliranju i stvore arheološka

¹²⁰ Ibid., 2017.

iskustva za virtualnu stvarnost.¹²¹ Rekonstrukcije su temeljene na arheološkim istraživanjima i teži se tome da budu što točnije i informativnije za korisnike. Dosada su razvijene rekonstrukcije antičke Atene, drevnog Jeruzalema i Koloseja. Osim toga, razvijena su i virtualna iskustva u kojima se gledatelj smješta u ulogu gladijatora u amfiteatru Arènes de Lutèce ili visokog svećenika carskog kulta u Cordobi.¹²²

Od kolovoza 2017. dostupna je i rekonstrukcija antičke Pule na 8 različitih punktova u gradu u sklopu virtualne ture, pa tako posjetitelji mogu u virtualnoj stvarnosti vidjeti amfiteatar, hram Augusta i Rome, slavoluk Sergijevaca i druga znamenita mjesta Pule, onako kako je izgledala u 2. stoljeću poslije Krista.¹²³



Slika 24: virtualna rekonstrukcija hrama Augusta i Rome u Puli, Lithodomos VR
Izvor: <https://pbs.twimg.com/media/DJF4qhBUQAAw6Ri.jpg> (pristup 1.8.2018.)

5.9. Izložba AQUAE IASAE u Arheološkom muzeju u Zagrebu (2015.-2016.)

Od 11. prosinca 2015. do 23. travnja 2016. godine u Arheološkom muzeju u Zagrebu održavala se izložba "AQUAE IASAE - Nova otkrića iz rimskog razdoblja na području Varaždinskih Toplica".¹²⁴ U sklopu izložbe 3. travnja 2016. godine Arheološki muzej u Zagrebu i *Legame Studio* po prvi su puta u Hrvatskoj predstavili rezultate arheoloških

¹²¹ <https://lithodomosvr.com/about-us/> (pristup 3.10.2017.)

¹²² <https://lithodomosvr.com/content-library/> (pristup 3.10.2017.)

¹²³ <http://www.thedubrovniktimes.com/news/croatia/item/3069-virtual-reality-brings-croatian-city-to-life> (pristup 3.10.2017.)

¹²⁴ <http://amz.hr/naslovnica/virtualna-setnja/povremene-izlozbe/2016/aquae-iasae.aspx> (pristup 4.10.2017.)

istraživanja pomoću virtualne stvarnosti. Posjetitelji su uz pomoć *Oculus Rift* head mounted display-a mogli pogledati priređenu 3D animaciju i virtualno prošetati svetištem Aquae Iasae.¹²⁵



Slika 25: isječak iz virtualne rekonstrukcije Varaždinskih toplica
Izvor: <https://i.ytimg.com/vi/yloH0tKPTYo/maxresdefault.jpg> (pristup 1.8.2018.)

6. Povijest proširene stvarnosti u arheologiji

6.1. ARCHEOGUIDE (2000. – 2002.)

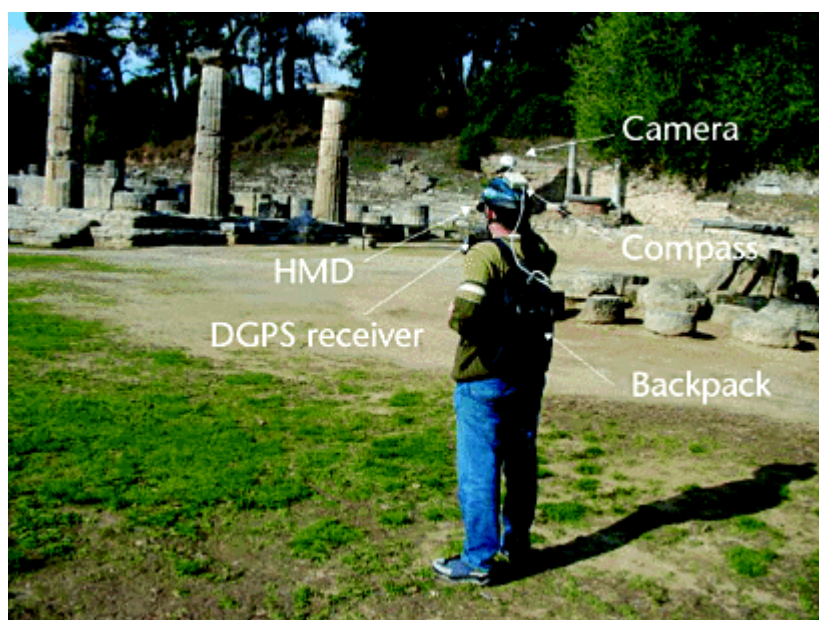
ARCHEOGUIDE (skraćeno od *Augmented Reality based Cultural Heritage On-site Guide*) je projekt koji je 2000. godine pokrenulo grčko Ministarstvo kulture u suradnji s partnerima iz Njemačke, Italije i Portugala. Cilj projekta bilo je stvaranje personaliziranog elektronskog turističkog vodiča temeljenog na proširenoj stvarnosti kako bi se posjetiteljima omogućilo da vide 3D virtualne rekonstrukcije lokaliteta *in-situ*. ARCHEOGUIDE sistem prvi put je testiran u Olimpiji.¹²⁶

Sastoji se od tri modula: informacijskog servera, mobilnih uređaja i mrežne infrastrukture koja ih povezuje. Na informacijskom serveru bili su spremljeni svi digitalni modeli i audio-

¹²⁵ <https://www.legame.hr/portfolio/arheoloski-muzej/> (pristup 4.10.2017.)

¹²⁶ V. Vlahakis et. al, *ARCHEOGUIDE: first results of an augmented reality, mobile computing system in cultural heritage sites*, Zbornik radova konferencije "Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage", VAST 2001., str. 131. Dalje u tekstu: Vlahakis et. al, 2001.

vizualne i tekstualne informacije o lokalitetu, spomenicima i nalazima, a na mobilne uređaje prenosile su se preko bežične mreže. Od mobilnih uređaja korišteni su prijenosno računalo, tablet i dlanovnik. Pravu proširenu stvarnost moglo je prikazati samo prijenosno računalo, koje su posjetitelji morali nositi u torbina leđima. Na računalo je, osim GPS-a i kompasa, bio spojen i *head mounted display*, koji su posjetitelji morali nositi uz biciklističku kacigu na koju je bila pričvršćena kamera. Sva ova oprema bila je potrebna da bi se prikazali virtualni 3D modeli građevina u stvarnom vremenu i *in-situ*, a posjetitelji su morali i mirno stajati na unaprijed predodređenom mjestu, čime se aktivirao prijenos podataka sa servera, te prikaz virtualnog modela i audio zapis sa podacima o prikazanom dijelu lokaliteta. Ukoliko bi se pomakli ili okrenuli, prekinuli bi prijenos informacija.¹²⁷



Slika 26: oprema potrebna za korištenje ARCHEOGUIDE sistema
Izvor: <https://csdl-images.computer.org/mags/cg/2002/05/figures/q50527.gif> (pristup 1.8.2018.)

Posjetitelji su u proširenoj stvarnosti mogli vidjeti virtualne rekonstrukcije Herinog hrama, Zeusovog hrama, Filipeiona i stadiona. Za Stadion su izrađene i animacije virtualnih atletičara koji se natječu u disciplinama bacanja koplja, bacanja diska, skoka u dalj, utrke u oklopu i *Diaulosa* (utrka dvije dužine stadiona).¹²⁸

¹²⁷V. Vlahakis et. al, *ARCHEOGUIDE: an augmented reality guide for archaeological sites*, IEEE Computer Graphics and Applications, sv. 22, br. 5, 2002., str. 52.-57.

¹²⁸Vlahakis et. al, 2001., str. 136.-137.

Na testiranju ARCHEOGUIDE sistema sudjelovalo je 50 osoba. Većinsko mišljenje ispitanika bilo je da su virtualne rekonstrukcije u proširenoj stvarnosti zanimljiv način učenja o lokalitetu koji olakšava njegovo razumijevanje, ali većini ljudi smetala je glomaznost i nezgrapnost opreme potrebne za korištenje sistema.¹²⁹

6.2. *LIFEPLUS Pompeii* (2002. – 2004.)

LIFEPLUS Pompeii je projekt započet 2002. godine pod vodstvom *MIRALab* istraživačkog labosa Sveučilišta u Ženevi. Cilj projekta bio je na inovativan način oživjeti slavne pompejske freske uz pomoć 3D virtualne flore, faune i ljudskih avatara. Poseban naglasak je stavljen na animacije ljudskih modela.¹³⁰

Slično već opisanom ARCHEOGUIDE-u, sistem je razvijen u obliku virtualnog vodiča koji se prilagođavao posjetitelju te mu je na temelju vremena provedenog na određenom mjestu davao dodatne informacije o lokalitetu u obliku slika, teksta, videa ili zvučnih zapisa. Uz pomoć GPS-a sistem je pratio položaj posjetitelja na lokalitetu, te je na unaprijed predodređenim lokacijama obavještavao korisnika o mogućnosti simulacije proširene stvarnosti. Za vrijeme simulacije, posjetitelj se mogao kretati unutar ograničenog prostora i promatrati virtualne modele iz više različitih kuteva.¹³¹

Sistem se sastojao od prijenosnog računala koje su posjetitelji morali nositi u torbi na leđima, te *head mounted display*-a spojenog na računalo kroz koji je korisnik mogao promatrati rekonstrukcije u proširenoj stvarnosti.¹³² Za potrebe vodiča izrađene su rekonstrukcije pompejske taverne i pekare s animacijama radnika, animacija pompejskih dama u šetnji te scene iz tipičnog pompejskog domaćinstva.¹³³

¹²⁹ Ibid., str. 138.

¹³⁰ G. Papagiannakis et. al, *Mixing virtual and real scenes in the site of ancient Pompeii*, Computer Animation and Virtual Worlds, sv. 16, br. 1, 2005, str. 12.-13. Dalje u tekstu: Papagiannakis et. al, 2005.

¹³¹ G. Papagiannakis et. al, *LIFEPLUS: Revival of life in ancient Pompeii*, Zbornik radova konferencije Virtual Systems and Multimedia, 2002. (preuzeto sa: https://www.researchgate.net/publication/37444098_LIFEPLUS_Revival_of_life_in_ancient_Pompeii_Virtual_Systems_and_Multimedia)

¹³² Papagiannakis et. al, 2005. str. 15.

¹³³ Ibid., str. 23.-24.



Slika 27: animacija pompejskih dama u šetnji, projekt LIFEPLUS Pompeii

Izvor: G. Papagiannakis et. al, *Mixing virtual and real scenes in the site of ancient Pompeii*, *Computer Animation and Virtual Worlds*, sv. 16, br. 1, 2005., str. 20.

6.3. VENUS projekt (2006.-2009.)

VENUS (*Virtual Exploration od Underwater Sites*) je arheološki projekt koji je trajao od 2006. do 2009. godine pod vodstvom francuskog Nacionalnog centra za znanstvena istraživanja i Odjela za podvodna arheološka istraživanja u Marseilleu. Osnovni ciljevi projekta bili su snimanje podvodnih lokaliteta na različitim dubinama autonomnim podvodnim vozilima uz korištenje sonara i fotogrametrije, izrada fotorealističnih 3D modela tih lokaliteta te njihova vizualizacija u virtualnoj i proširenoj stvarnosti.¹³⁴

Projekt je bio motiviran degradacijom podvodnih lokaliteta (npr. zbog koćarenja ili biozagađenjem podvodnom florom i faunom) te nepristupačnošću lokaliteta koji se nalaze na iznimno velikim dubinama i koje je teško ili nemoguće fizički istraživati. Cilj vizualizacije modela u virtualnoj i proširenoj realnosti bio je da se arheolozima omogući da na taj način istraže takve lokalitete te da ih se općenito približi i široj javnosti ili arheolozima koji nemaju ronilačke dozvole. Aplikacija proširene stvarnosti izvedena je u obliku precizne mape

¹³⁴P. Chapman et. al, *Virtual Exploration of Underwater Archaeological Sites: Visualization and Interaction in Mixed Reality Environments*, Zbornik radova konferencije *Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage*, 2008., str. 141. Dalje u tekstu: Chapman et. al, 2008.

lokaliteta na kojoj je moguće manipulirati virtualnim objektima. Aplikaciju i njene primjene testirala je grupa arheologa tijekom radionice.¹³⁵

Pri evaluaciji aplikacije arheolozi su se složili da su virtualna i proširena stvarnost korisni alati za podvodne arheologe, ali imali su primjedbe na realizaciju same aplikacije, njenih funkcija i mogućnosti. Prema tome, pri izradi ovakvih ili sličnih aplikacija koje se tiču rada na arheološkim istraživanjima, sami arheolozi bi trebali biti uključeni u njihovu izradu, umjesto da na početku razvoja zadaju zahtjeve i na kraju evaluiraju već gotovi proizvod, budući da računalni znanstvenici koji ih razvijaju ne razumiju potrebe arheologa niti način rada na arheološkim istraživanjima.

6.4. *Archeomatica* (2012.) i izložba *Corps et esprits* (Tijelo i um – 2014.)

U sklopu projekta *Archeomatica* napravljena je djelomična virtualna anastiloza statue satira Telamona u proširenoj stvarnosti. Statua je otkrivena u 19. st. Nalazila se nalazila na pozornici sirakuškog kazališta i datira se u kasno klasično razdoblje. Izrađena je od lokalnog vapnenca prekrivenog mješavinom pijeska i mramorne prašine. Zbog korištenih materijala, statua je stalno izložena degradaciji, što je vidljivo iz usporedbe fotografija iz 19. st. i od prije nekoliko godina. Statua je skenirana laserskim skenerom, a za izradu 3D modela korišteni su programi *Meshlab* i *Blender*. Na originalnu statuu zatim je postavljen marker i izrađena je aplikacija koja joj kroz proširenu stvarnost dodaje virtualno restaurirane djelove.¹³⁶

¹³⁵ Chapman et. al, 2008., str. 147.

¹³⁶ F. Stanco, D. Tanasi, M. Buffa, B. Basile, *Augmented Perception of the Past: The Case of the Telamon from the Greek Theater of Syracuse*, u: C. Grana, R. Cucchiara (ur.), *Communications in Computer and Information Science*, sv. 247., 2012. str. 126.-135.



Slika 28: virtualna anastiloza statue satira Telamona

Izvor:

https://www.researchgate.net/profile/F_Stanco/publication/229067166/figure/fig5/AS:300884115378177@1448747771077/The-augmented-reality-in-the-Museum.png (pristup 1.8.2018.)

Ovakav način restauracije prikladan je i za velike statue koje bi bilo nezgrapno fizički restaurirati ili statue od kojih nam je ostalo jako malo, te se njihov originalni izgled pretpostavlja na temelju sličnih kipova i stila vremena kojem pripada. Jedan takav primjer je virtualna anastiloza grupe Ahileja i Pentesileje u Muzeju povijesti i umjetnosti u Ženevi. Anastiloza je predstavljena aplikacijom proširene stvarnosti u sklopu izložbe *Corps et esprits* (Tijelo i um) 2014. godine, a realizirala ju je tvrtka *Amethys3D*.¹³⁷ Glava i torzo Ahileja koje se čuvaju u muzeju potječu iz dviju različitih rimskih replika originalne grupe Ahilej i Pentesileja izrađene oko 170.-160. g. pr. Kr. u Pergamu. Grupa prikazuje grčkog heroja Ahileja koji podupire tijelo Pentesileje nakon što ju je smrtno ranio tijekom trojanskog rata.¹³⁸

¹³⁷ <https://www.youtube.com/watch?v=iOnL8gWblBM> (pristup 10.10.2017.)

¹³⁸ <http://www.ville-ge.ch/musinfo/bd/mah/collections/detail.php?type=search=simple&lang=fr&criteria=achille&terms=all&pos=2&id=31746> (pristup 10.10.2017.)



Slika 29: virtualna anastiloza grupe Ahileja i Pentesileje
Izvor: <https://www.youtube.com/watch?v=iOnL8qWbIBM> (pristup 1.8.2018.)

6.5. Juraj Dalmatinac Virtual Guide (2013.)

3D AR Visual Portal je projekt pokrenut 2013. godine i financiran od strane Ministarstva turizma i Turističke zajednice grada Šibenika. U sklopu projekta razvijena je aplikacija proširene stvarnosti *Juraj Dalmatinac Virtual Guide*.¹³⁹ Aplikacija je predstavljena u Šibeniku na tri različite lokacije: ispred katedrale sv. Jakova, pored UNESCO-ve spomen ploče kulturne baštine i pored Meštrovićevog spomenika Juraju Dalmatincu. Usmjerenjem kamere pametnog telefona ili tableta na kojem je aplikacija instalirana na ekranu se javlja virtualni 3D model Juraja Dalmatinca koji korisniku daje informacije o "sebi", o gradnji katedrale sv. Jakova te o njenom uvrštavanju na popis svjetske kulturne baštine.¹⁴⁰ 3D model je temeljen djelomično na Meštrovićevoj skulpturi Juraja Dalmatinca i na slikama iz perioda njegovog života. Projekt je 2013. nominiran, a 2014. je osvojio najprestižniju svjetsku

¹³⁹ <http://www.mint.hr/default.aspx?ID=11724> (pristup 12.10.2017.)

¹⁴⁰ <http://www.index.hr/black/clanak/virtualni-juraj-dalmatinac-iz-sibenika-proglasen-najboljom-svjetskom-inovacijom-u-turizmu/723559.aspx> (pristup 12.10.2017.)

nagradu u turizmu Ulysess u kategoriji Tehnološkog razvoja i inovacija koju dodjeljuje Svjetska turistička organizacija.¹⁴¹

6.6. Ara Pacis (2016.)

L'Ara com'era je izložba u Muzeju Are Pacis u Rimu, prvi puta predstavljena u listopadu 2016. godine. Cilj izložbe je posjetiteljima omogućiti da uz pomoć proširene stvarnosti vide rekonstrukciju Are Pacis u njenim originalnim bojama. Osim rekonstrukcije spomenika, posjetitelji mogu u virtualnoj stvarnosti vidjeti i originalni položaj Are na Marsovoj poljani i "sudjelovati" u ritualnom žrtvovanju bika. Izložba se pokazala iznimno uspješnom, te ju je samo u prva tri mjeseca postava posjetilo oko 11 tisuća ljudi.¹⁴²



Slika 30: rekonstrukcija Are Pacis u originalnim bojama uz pomoć proširene stvarnosti

Izvor: <https://i.pinimg.com/originals/b5/a6/bb/b5a6bb00c20df5b771cc5c639e370dad.png> (pristup 1.8.2018.)

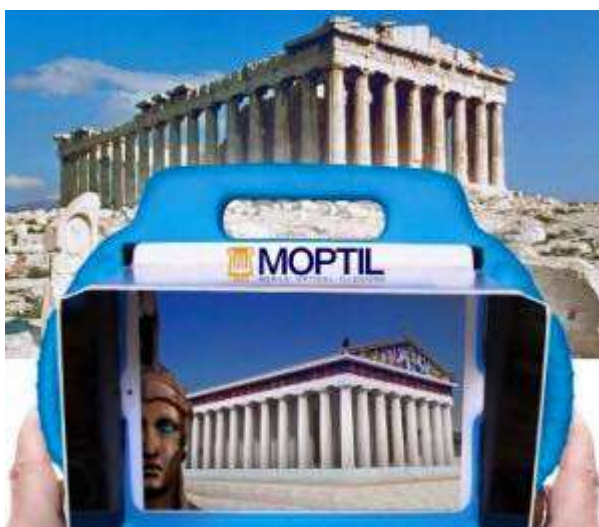
6.7. MOPTIL

MOPTIL (*Mobile Optical Illusions*) je grčka tvrtka koja se bavi isključivo izradom arheoloških rekonstrukcija za mobilne uređaje u proširenoj stvarnosti, a 2015. godine razvili

¹⁴¹<http://www.momentum-studio.com/augmented-reality-juraj-dalmatinac-virtual-guide/> (pristup 12.10.2017.)

¹⁴²http://www.arapacis.it/l_ara_com_era/progetto (pristup 13.10.2017.)

su svoju prvu rekonstrukciju, *Acropolis 3D*, gdje posjetitelji na licu mjesta mogu uz pomoć tableta doživjeti Akropolu onako kako je izgledala u različitim periodima u povijesti (klasični grčki period, rimsko razdoblje, bizantsko razdoblje, doba otomanskog osvajanja) i usporediti prikaze s današnjim izgledom. Rekonstrukcije su rađene u suradnji s profesorima s atenskog Fakulteta povijesti i arheologije. U potpunosti su rekonstruirani Partenon, hram Atene Nike, Erehteion, Propileje, Dionizovo kazalište, Zeusovo svetište, svetište Artemide Brauronije, Kalkoteka, Areforion, hram Augusta i Rome iz rimskog perioda, svi važniji žrtvenici, te cijeli južni obronak.¹⁴³



Slika 31: virtualna rekonstrukcija Partenona uz pomoć proširene stvarnosti

Izvor: [https://scontent-vie1-1.xx.fbcdn.net/v/t1.0-](https://scontent-vie1-1.xx.fbcdn.net/v/t1.0-9/12961678_971153949588600_1985445512167341284_n.jpg?nc_cat=0&oh=46d923183286eba27ce5f60c428f40a5&oe=5BC575F7)

[9/12961678_971153949588600_1985445512167341284_n.jpg?nc_cat=0&oh=46d923183286eba27ce5f60c428f40a5&oe=5BC575F7](https://scontent-vie1-1.xx.fbcdn.net/v/t1.0-9/12961678_971153949588600_1985445512167341284_n.jpg?nc_cat=0&oh=46d923183286eba27ce5f60c428f40a5&oe=5BC575F7) (pristup 1.8.2018.)

Iduće godine razvija se *Knossos 3D* u suradnji sa Fakultetom povijesti i arheologije i Britanskom školom u Ateni. U potpunosti su rekonstruirana najpoznatija područja Knosa (zapadni trijem, južni propileji, magazini sa velikim pitosima, središnje dvorište, dvorana stupova, kraljičin megaron, soba prijestolja), te sve najpoznatije freske (Princ od ljljana, Gospođe u plavom, Preskakanje bikova, Dupini...). Također je moguće vidjeti i animaciju mladića kako preskače preko bika u centralnom dvorištu.¹⁴⁴

¹⁴³ http://moptil.com/sites_acropolis/ (pristup 13.10.2017.)

¹⁴⁴ http://moptil.com/sites_knossos/ (pristup 13.10.2017.)



Slika 32: virtualna rekonstrukcija sobe prijestolja u Knossosu uz pomoć proširene stvarnosti

Izvor: https://scontent-vie1-1.xx.fbcdn.net/v/t1.0-9/27972913_1615104881860167_4744279370121206436_n.jpg?nc_cat=0&oh=830a9caf2b3475f5831b6f3cd3d9a33e&oe=5C13D0A6 (pristup 1.8.2018.)

Iste godine razvijena je i *Olympia 3D* sa Fakultetom za povijest i arheologiju u Ateni. Rekonstruirani su Zeusov hram i oltar, Stadion, Filipeion, Gimnazij, Palestra, Fidiijina radionica, Herin hram, Metroon, Buleterion i brojni kipovi i oltari.¹⁴⁵

2017. godine razvijeni su i *Delphi 3D*¹⁴⁶, gdje je moguće vidjeti animaciju proročice Pitije kako upada u trans u Apolonovom hramu, te brojne riznice koje su se nalazile u Delfima. Također su razvijeni i *Kos 3D*¹⁴⁷ i *Lindos 3D*¹⁴⁸. Od 2017. godine na svim rekonstruiranim lokalitetima dodane su i animacije ljudi iz rekonstruiranog perioda koji šecu po lokalitetu, te svećenika i svećenica koje obavljaju žrtve i druge dužnosti u hramovima kako bi posjetiteljima lakše dočarali svakodnevnicu na mjestima koje posjećuju.

6.8. Bylany i Zalezlice (2017.)

Arheolozi sa Instituta za arheologiju u Pragu demonstrirali su potencijal proširene stvarnosti za *in-situ* prezentaciju lokaliteta koji nemaju očuvanih površinskih ostataka na primjeru neolitičkog lokaliteta Bylany i brončanodobnog lokaliteta Zalezlice.¹⁴⁹

Uobičajeni posjet neolitičkom lokalitetu Bylany obično bi se sveo na stajanje u praznom polju, s obzirom na to da lokalitet nema površinskih nalaza ni očuvanih građevina. Ovaj

¹⁴⁵ <http://moptil.com/sites/olympia/> (pristup 13.10.2017.)

¹⁴⁶ <http://moptil.com/sites/delphi/> (pristup 13.10.2017.)

¹⁴⁷ <http://moptil.com/sites/kos/> (pristup 13.10.2017.)

¹⁴⁸ <http://moptil.com/sites/lindos/> (pristup 13.10.2017.)

¹⁴⁹ Unger, Kvetina, 2017.

problem riješen je aplikacijom proširene stvarnosti koja posjetitelje vodi kroz 9 postaja kako bi im se prikazali najvažniji dijelovi naselja i okolice lokaliteta. Sve virtualne rekonstrukcije utemeljene su na podacima prikupljenim kroz arheološka istraživanja koja su se na lokalitetu provodila još od 1950-ih godina. Odabrani krajolik je skeniran zračnim laserskim skenerom i 3D modeli su georeferencirani i postavljeni na položaj originalnih građevina.¹⁵⁰



Slika 33: virtualna rekonstrukcija neolitičkog naselja na lokalitetu Bylany uz pomoć proširene stvarnosti
Izvor: P. Kvetina, J. Unger, P. Vavrečka: *Presenting the invisible and unfathomable: Virtual museum and augmented reality of the Neolithic site in Bylany, Czech Republic, Archeologické rozhledy*, sv. LXVII, 2015., str. 13.

Još jedan virtualni muzej na otvorenom postavljen je u mjestu Praha Vinor, gdje su u 2014. tijekom zaštitnih iskopavanja otkriveni dijelovi neolitičkog naselja. Rezultati istraživanja iskorišteni su za izradu 3D rekonstrukcije naselja. Uz pomoć aplikacije proširene stvarnosti moguće je vizualizirati panoramski pogled rekonstruiranog sela, dobiti informacije o kulturi koja je u njemu obitavala, vidjeti primjerke tipičnih predmeta koji su pronađeni tijekom istraživanja, a na jednom mjestu prikazan je i opisan proces zaštitnog iskopavanja. Lokalitet je tijekom istraživanja fotografiran te je uz pomoć fotogrametrije izrađen model koji je iskorišten u aplikaciji.¹⁵¹

¹⁵⁰ Ibid., 2017.

¹⁵¹ Ibid., 2017.

6.9. Izložba Darovi zemlje – neolitik između Save, Drave i Dunava (2014.)

U Arheološkom muzeju u Zagrebu od 28. ožujka do 28. rujna 2014. godine održana je izložba Darovi zemlje – neolitik između Save, Drave i Dunava u suradnji s Muzejom Slavonije Osijek i Odsjekom za arheologiju Filozofskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

Cilj izložbe bio je prikazati prva trajna naselja na području sjeverne Hrvatske s naglaskom na kontinuitet njihovog naseljavanja i prostornu komunikaciju s ostalim dijelovima Europe. Izloženi su najreprezentativniji predmeti starčevačke, korenovske, sopotske, lendelske i vinčanske kulture koje su u periodu neolitika obitavale na području sjeverne Hrvatske.¹⁵²

U sklopu izložbe korištena je aplikacija proširene stvarnosti AURASMA¹⁵³ uz pomoću koje su posjetitelji mogli dobiti dodatne virtualne informacije o izlošcima.

6.10. Valorizacija amfiteatra Burnum (2017.)

U kolovozu 2017. godine Javna ustanova NP Krka, Gradski muzej Drniš i Odsjek za povijest kulture i civilizacije potpisali su Sporazum o istraživanju, dokumentaciji i valorizaciji rimskog amfiteatra u Burnu. Ovaj projekt rezultat je suradnje hrvatskih i talijanskih arheologa na istraživanjima lokaliteta koja traju još od 2005. godine.

Cilj projekta je detaljna dokumentacija lokaliteta korištenjem moderne opreme i suvremenih metoda snimanja (laserski skener, dron) u svrhu izrade rekonstrukcije arhitektonskog kompleksa amfiteatra i antičkih tehnika gradnje. Krajnji rezultat bile bi virtualne rekonstrukcije u proširenoj stvarnosti unutar aplikacije za tablete i pametne telefone. Želja je široj javnosti na nov i zanimljiv način prikazati izgradnju amfiteatra, najznačajnije arhitektonske promjene tijekom stoljeća te na kraju njegovo napuštanje i propadanje. Rok završetka projekta je 12 mjeseci, a podršku mu pružaju i Odjel za arheologiju Sveučilišta u Zadru, Centar za jadransku arheologiju i Ministarstvo vanjskih i europskih poslova RH.¹⁵⁴

¹⁵² <http://www.amz.hr/naslovnica/virtualna-setnja/povremene-izlozbe/2014/darovi-zemlje.aspx> (pristup 13.11.2017.)

¹⁵³ <https://www.aurasma.com/> (pristup 13.11.2017.)

¹⁵⁴ <http://www.npkrka.hr/clanci/Valorizacija-Amfiteatra-Burnum/328/en.html> (pristup 14.10.2017.)

7. Miješana stvarnost i arheologija

Tehnologija miješane stvarnosti još uvijek je u ranim stadijima razvoja, za razliku od virtualne i proširene stvarnosti koje su svoj razvoj počele još krajem šezdesetih godina prošlog stoljeća. Uređaji miješane stvarnosti još nisu dostupni u komercijalnim inačicama i tek treba vidjeti hoće li tehnologija uspjeti ispuniti sva obećanja koja razvojne tvrtke predstavljaju javnosti. Međutim, zbog bliskosti virtualnoj i proširenoj stvarnosti potrebno ju je spomenuti u ovom radu. Ako bi se pokazala uspješnom, mogla bi imati veliki potencijal za struku i dovesti do novih načina vizualizacije u arheologiji.

Kao što je već spomenuto, miješana stvarnost razlikuje se od virtualne u tome što korisnik nije u potpunosti uronjen u virtualno okruženje, već vidi stvarni svijet oko sebe, u koji uređaj projicira računalno generirane 3D modele s kojima je moguće manipulirati (za razliku od proširene stvarnosti koja uglavnom prikazuje dvodimenzionalne modele i s kojima najčešće nije moguće vršiti interakciju). Trenutno najpoznatiji uređaji miješane stvarnosti koji su u razvoju su *Microsoft HoloLens* i *Magic Leap*. Oba uređaja razlikuju se od naočala virtualne stvarnosti (poput *Oculus Rift*-a, *HTC Vive*-a i sl.) u još jednoj bitnoj stavki, a to je da su u potpunosti samostalni. Imaju svoj procesor, radnu memoriju, grafičku karticu, senzore i dr. te nije potrebno da prilikom upotrebe budu spojeni na računalo, što korisniku daje puno veću slobodu kretanja. Jedno od svojstava *Microsoft HoloLens*-a koje je posebno zanimljivo je da isti hologram u stvarnom vremenu može promatrati više umreženih korisnika uređaja bez obzira gdje se nalazili u odnosu na hologram.¹⁵⁵

S obzirom na sve navedene odlike ovih uređaja, može se reći da bi miješana stvarnost u takvom obliku bila veoma korisna za grupna ili samostalna razgledavanja arheoloških lokaliteta *in-situ*. Više posjetitelja moglo bi u stvarnom vremenu vidjeti trodimenzionalne rekonstrukcije izgubljenih arhitektonskih spomenika ili ubrzane simulacije propadanja lokaliteta kroz vrijeme.

Ovakvi uređaji primjenu bi mogli pronaći i u sklopu arheoloških predavanja, gdje bi studenti mogli u stvarnom prostoru i u pravoj veličini vidjeti i manipulirati digitalnim modelima predmeta o kojima uče.

¹⁵⁵T. Wolverton, *Review: Microsoft's HoloLens offers glimpse of holographic future*, San Jose Mercury News, 2016.: <https://phys.org/news/2016-04-microsoft-hololens-glimpse-holographic-future.html> (pristup 29.10.2017.)

8. Nove primjene: ozbiljne igre

Digitalne tehnologije svakim danom sve više mijenjaju pristup prezentaciji i učenju o kulturnoj baštini, a posebno virtualna i proširena stvarnost koje stvaraju nove mogućnosti za njenu vizualizaciju, kako u muzejima, tako i *in-situ*. Predviđa se da će tehnologije virtualne i proširene stvarnosti uvelike proširiti svoj utjecaj na sve postojeće medije.¹⁵⁶ Međutim, jedan od medija "najodgovornijih" za ubrzan razvoj navedenih tehnologija su video igre. Ovaj virtualni interaktivni medij proteklih je godina postao ekonomska, socijalna i kulturna sila, s velikom heterogenom zajednicom korisnika svih dobnih skupina. Radnja velikog broja video igara smještena je u "prošlosti", a inspiraciju nerijetko vuku iz stvarne povijesti. Dapače, preko prvih igara kao što je *Hamurabi* iz 1969. godine¹⁵⁷ u kojoj je igrač smješten u ulogu vladara drevnog Babilona, pa do današnjih multimilionskih franšiza kao što su *Sid Meier's Civilization* (Firaxis Games 1991. – 2016.)¹⁵⁸, *Assassin's Creed* (Ubisoft 2007. – 2017.)¹⁵⁹ ili *Uncharted* (Naughty Dog 2007.-2017.) povijest i arheologija igraju veliku ulogu u oblikovanju radnje i okoliša brojnih igara. S obzirom na predviđeni rast industrije video igara, njihov utjecaj na društvo, te ubrzani razvoj tehnologija virtualne i proširene stvarnosti za primjenu unutar video igara, važno je istražiti i njihov potencijal u kontekstu kulturne i arheološke baštine.¹⁶⁰ Iako je dobro poznato da video igre imaju sličan pristup arheologiji kao i hollywoodski filmovi, neki novi žanrovi imaju potencijal promijeniti sliku koja se o arheologiji godinama stvarala kroz popularne naslove kao što su *Lara Croft: Tomb Raider*, *Uncharted* i sl. u kojima se igrača stavlja u ulogu pustolova sa strašću za drevnim artefaktima, a gledano kroz oči arheologa, zapravo pljačkaša starina (čak je i dio naslova jedne od njih "pljačkaš grobnica")¹⁶¹. Na primjer, novi nastavak popularne franšize *Assassins Creed: Origins*, čija je radnja smještena u Egipat za vrijeme vladavine Kleopatre VII. Philopator, nudi i mogućnost virtualne ture Egiptom unutar igre. Igrači tako mogu izbliza promatrati postupak mumifikacije, naučiti o svakodnevnom životu drevnih Egipćana, prošetati rekonstrukcijom drevne Aleksandrije i sl.

¹⁵⁶N. A. Haddad, *Multimedia and Cultural Heritage: A Discussion for the Community Involved in Childrens Edutainment and Serious Games in the 21st Century*, Virtual Archaeology Review, sv. 7, br. 14, 2016., str. 61.-62. Dalje u tekstu: N. A. Haddad, 2016.

¹⁵⁷D. B. Weston, *Greatest Moments in Video Game History*, Amazon Digital Services LLC, 2012., str. 25.

¹⁵⁸<https://www.civilization.com/>(pristup 23.10.2017.)

¹⁵⁹<https://assassinscreed.ubisoft.com/game/en-us/games/index.aspx>(pristup 23.10.2017.)

¹⁶⁰A. A. A. Mol et. al, *Tutorial: An introduction to Archaeology, Heritage and Video Games*, u: A. A. A. Mol et. al (ur.) *The Interactive Past: Archaeology, Heritage and Video Games*, Leiden, 2017. str. 8.-10.

¹⁶¹Eng. "tomb raider" u prijevodu znači "pljačkaš grobnica".



Slika 34: prikaz procesa obrade žita u drevnom Egiptu unutar video igre *Assassin's Creed: Origins*
 Izvor: https://ubistatic19-a.akamaihd.net/marketingresource/en-us/images/aco_dt_crowdlife_grainprocessing_int_english_319041_960x540_319497.jpg (pristup 1.8.2018.)

Mnogi još uvijek smatraju da su video igre samo djetinjasti oblik zabave, no brojna istraživanja stvaraju sasvim različitu sliku o njima. Ne samo da je prosječna dob korisnika video igara oko 35 godina¹⁶², već je kroz velik broj projekata i istraživanja demonstrirano kako video igre mogu biti koristan alat za obrazovanje, razvijanje kritičkog razmišljanja i uvježbavanje različitih vještina.¹⁶³ U proteklim godinama razvijen je i koncept "ozbiljnih igara" (eng. *serious games*), koje se mogu opisati kao igre s edukativnom komponentom čiji krajnji cilj nije zabava, već prenošenje nekog znanja (npr. simulatori leta koji se koriste u vojnim vježbama). Poznate su još i pod terminom *game-based learning* (GBL), koji se definira kao korištenje video igara kao alata za poboljšanje procesa učenja.¹⁶⁴ Brojni autori smatraju kako su ozbiljne igre izvrstan način za informiranje široke publike o povijesti, arheologiji i kulturnoj baštini.

¹⁶² Entertainment Software Association, *2017 Sales, Demographic and Usage Data: Essential Facts About the Computer and Video Game Industry*, 2017. (preuzeto sa: http://www.theesa.com/wp-content/uploads/2017/04/EF2017_FinalDigital.pdf)

¹⁶³ S. Egenfeldt-Nielsen, Overview of Research on the Educational use of Video Games, *Nordic Journal of Digital Literacy*, sv. 1, br. 3, 2006., str. 184.-213.

¹⁶⁴ N. A. Haddad, 2016., str. 62.

Zbog već postojeće velike zajednice korisnika video igara predstavljanje projekata široj javnosti bilo bi uvelike olakšano, a s obzirom na implementaciju unutar medija s kojim su ljudi već upoznati, korištenje gotovog proizvoda bilo bi ugodnije. Ovo je vidljivo na primjeru istraživanja Erica Malcoma Championa, u kojem je isti virtualni okoliš jednom dijelu sudionika predstavljen kao video igra, a drugom dijelu kao digitalna arheološka simulacija. Sudionici kojima je rečeno da se radi o video igri lako su se snašli unutar virtualnog okoliša i bez oklijevanja su krenuli u njegovo istraživanje, pošto su im pravila i mogućnosti video igara već poznata. Međutim, sudionici kojima je rečeno da gledaju digitalnu arheološku simulaciju bili su više zbunjeni navigacijom unutar prostora i nije im bilo u potpunosti jasno na koji način i s čim bi trebali ostvariti interakciju.¹⁶⁵

Osim lakšeg marketinga i približavanja javnosti, korištenje već postojećih programa poput *game engine*-a ili stvaranje arheološkog sadržaja unutar već postojećih igara mnogo je jeftinije od izrade potpuno novog softvera. Za primjer možemo uzeti organizaciju *DigIt!*¹⁶⁶ koja se bavi promoviranjem arheologije u Škotskoj kroz suradnju s kulturnim ustanovama diljem države. Jedan od glavnih ciljeva 2015. godine bio je približavanje arheologije mlađoj publici, te je u suradnji sa organizacijom *Immersive Minds*¹⁶⁷ koja se bavi ozbiljnim igrama pokrenut projekt *Crafting the Past*. U sklopu projekta korištena je iznimno uspješna i popularna igra *Minecraft*¹⁶⁸ za promoviranje arheologije. Za razliku od većine video igara, *Minecraft* nema točnog ili krivog rješenja, nema narativa, pobjednika ni gubitnika; umjesto toga omogućuje igračima da unutar virtualnog svijeta izgrade što god mogu zamisliti. Prepoznat je i njen potencijal kao "ozbiljne igre" te je izdano i posebno izdanje za edukativne svrhe (*Minecraft: Education Edition*)¹⁶⁹

Tokom projekta unutar igre izrađene su rekonstrukcije različitih arheoloških lokaliteta i povijesnih građevina diljem Škotske. U sklopu Dana svjetske baštine 2015. godine unutar igre izrađena je rekreacija lokaliteta Watling Lodge (rimski utvrda na Antoninovom zidu), koja je zatim "zakopana" i prekrivena digitalnom topografijom. Igrači iz online zajednice *Minecraft*su pozvani da istraže i iskopaju Watling Lodge poput arheologa. Jedan od članova *Immersive Minds*-a unutar igre je koristio avatara koji je izgledao poput rimskog centuriona i predstavio se kao "duh Rimljanina" koji luta po lokalitetu. Igrači su mu samostalno prilazili i

¹⁶⁵E. M. Champion, *Single White Looter: Have Whip, Will Travel*, u: A. A. A. Mol et. al (ur.) *The Interactive Past: Archaeology, Heritage and Video Games*, Leiden, 2017., str. 107.

¹⁶⁶<http://www.digit2017.com/>(pristup 26.10.2017.)

¹⁶⁷<https://www.immersiveminds.com/>(pristup 26.10.2017.)

¹⁶⁸<https://minecraft.net/en-us/?ref=m>(pristup 26.10.2017.)

¹⁶⁹<https://education.minecraft.net/how-it-works/what-is-minecraft/>(pristup 26.10.2017.)

postavljali pitanja o Rimu, o lokalitetu i utvrdi te o rimskoj osvajačkoj kampanji na Britaniju. Među sobom su pokrenuli i raspravu o najboljoj metodi iskopavanja. Neki od sudionika nikada se prije nisu aktivno zanimali za arheologiju, ali kroz ovu igru bili su dovoljno motivirani da postavljaju pitanja o arheološkim metodama i nalazištima, te i sami pokušaju pronaći točne odgovore.¹⁷⁰



Slika 35: rekonstrukcija prapovijesnog lokaliteta Moncreiffe Hill unutar video igre Minecraft
Izvor: <http://www.digscotland.com/moncreiffe-hill-crafting-the-past/> (pristup 1.8.2018.)

Članovi *DigIt!* organizacije ovim projektom demonstrirali su da je moguće stvoriti digitalne okoliše koji potiču razmišljanje o arheologiji i raspravu o arheološkim metodama, te da je moguće informirati javnost o arheološkim lokalitetima kroz digitalne rekreacije bez stvaranja kompliciranih i grafički zahtjevnih 3D modela. Od 2016. godine *Minecraft* je dostupan i u virtualnoj stvarnosti za *Oculus Rift* i *Samsung Gear VR*, što otvara dodatne mogućnosti za prezentaciju arheoloških sadržaja unutar igre.

Tehnologija virtualne stvarnosti može igrati veliku ulogu u stvaranju edukativnih programa o kulturnoj baštini. Uzmimo za primjer specifični žanr video igara koji posebno odgovara virtualnoj stvarnosti, ironično nazvani simulatorima hodanja (eng. *walking simulator*), budući da se razlikuju od tradicionalnih igara u svojim temeljnim postavkama: ne oslanjaju se na

¹⁷⁰J. McGraw, S. Reid, J. Sanders, *Crafting the Past: Unlocking new audiences*, u: A. A. A. Mol et. al, *The Interactive Past: Archaeology, Heritage and Video Games*, Leiden, 2017., str. 167.-177. Dalje u tekstu: McGraw, Reid, Sanders, 2017.

sistem borbe i skupljanja bodova kako bi se došlo do pobjede, te nemaju unaprijed određen niz događaja koji vode igrača kroz priču. Umjesto toga, naglasak je na bogatim virtualnim okolišima i slobodi istraživanja. Ovi okoliši često su i rekreacije stvarnih lokacija izvedene uz pomoć fotogrametrije.¹⁷¹ Popularnost ovog novog žanra video igara pokazuje da postoji velik broj ljudi koji žude za drugačijim iskustvom u video igrama, a arheolozi su u odličnom položaju da izradom arheološkog sadržaja unutar takvih igara prezentiraju svoj rad na inovativan i interaktivan način. Izrada "arheoloških simulatora" otvorila bi nove mogućnosti za edukaciju i informiranje velike publike unutar poznatog medija, te omogućila nov način komuniciranja arheoloških istraživanja široj javnosti.¹⁷²

9. Zaključak

Do prije nekoliko godina virtualna i proširena stvarnost činile su se kao znanstvena fantastika, ali dolaskom novih modela pametnih telefona, tableta i naočala za virtualnu realnost, stanje i tržište se mijenja i raste iz dana u dan. Ovo su relativno nove tehnologije, ali brojne industrije i znanstvene discipline već iskušavaju njihove primjene u edukativne i radne svrhe. Smatra se da će ove platforme u relativno kratkom roku postati sastavni dio svakodnevice: od kupovine, pregledavanja interneta, preko komunikacije i interakcije.

Među humanističkim znanostima arheologija je jedinstvena u svom kritičkom procjenjivanju i asimiliranju tehnologija. Arheologija je tako za svoje potrebe preuzela i modificirala tehnologije kao što su GIS (geografski informacijski sustav), RTI (*Reflectance Transformation Imaging*) i CAD (*Computer Aided Design*), od kojih nijedna originalno nije bila namjenjena u svrhe arheoloških iskopavanja. U današnje vrijeme digitalna dokumentacija je postala uobičajena praksa i dio gotovo svakog istraživanja budući da omogućava brže, precizije i jasnije dokumentiranje na terenu. Digitalizacija arheoloških iskopavanja može promijeniti način na koji promatramo lokalitet i njegovu stratigrafiju, te prostorni raspored nalaza unutar nje. Sa sve bržim razvojem visokokvalitetne računalne grafike koja je komercijalno dostupna, te razvojem boljih softvera za obradu podataka za fotogrametriju,

¹⁷¹A. Poznanski, *Visual Revolution of the Vanishing of Ethan Carter*, theastronauts.com, 2014., <http://www.theastronauts.com/2014/03/visual-revolution-vanishing-ethan-carter/> (pristup 27.10.2017.)

¹⁷²E. González-Tennant, *Archaeological Walking Simulators*, The SAA Archaeological Record, sv. 16, br. 5, 2016. str. 23.-28.

moguće je izraditi sveobuhvatne aplikacije za bilježenje i vizualizaciju arheoloških podataka u toku istraživanja.

P. Reilly, začetnik pojma "virtualna arheologija", smatra da je prijeko potrebno da se nove tehnologije nastave asimilirati u struku na značajan način, te da ih uvijek treba oblikovati prema potrebama i metodologijama arheologije. Digitalizacija i prezentacija arheoloških lokaliteta kroz virtualnu i proširenu stvarnost, kao sve popularnije i široko primjenjene tehnologije, mogu biti dobar način širenja informacija i podizanja svijesti o radu arheologa, ali i način očuvanja kulturne baštine za buduće generacije.

Digitalne rekonstrukcije, pogotovo one izvedene u virtualnoj stvarnosti s kvalitetnom grafikom i realističnim 3D modelima, veoma su zanimljive široj javnosti. Tvrtke i studiji koji se brave animacijama i izradom 3D modela u kratkom su roku počeli izrađivati virtualne posjete slavnim arheološkim lokacijama, ali i rekonstrukcije danas izgubljenih lokaliteta. Zadatak naše struke je, osim iskopavanja i očuvanja lokaliteta i nalaza, također i njihova prezentacija javnosti te pružanje informacija o kulturnoj baštini. Dezinformacije u filmovima ili video igrama smještenima u povijesni ili arheološki kontekst možda se mogu pripisati "umjetničkoj slobodi", ali u povijesnim i arheološkim rekonstrukcijama nema mjesta za iskrivljene činjenice. Ukoliko želimo spriječiti širenje krivih podataka kroz aplikacije virtualne i proširene stvarnosti, prijeko je potrebno da se na vrijeme uključimo u njihovu izradu i širenje, jer možemo biti sigurni da će se one nastaviti izrađivati – uz našu prisutnost ili bez nje.

10. Popis slika

Slika 1: uređaj Oculus Rift, primjer head-mounted display-a

Izvor: https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/61ueGFutGgL._SX342_.jpg
(pristup 31.7.2018.)

7

Slika 2: CAVE sistem virtualne stvarnosti

Izvor: <http://www.visbox.com/wp/wp-content/uploads/2015/03/c4-4k-sw-600.png> (pristup 31.7.2018.)

8

Slika 3: Sensorama

Izvor: <https://i.imgur.com/CIjMvQg.jpg> (pristup 31.7.2018.)

9

Slika 4: prvi head-mounted display

Izvor: <http://www.dsource.in/sites/default/files/course/virtual-reality-introduction/evolution-vr/sword-damocles-head-mounted-display/images/17.jpg> (pristup 31.7.2018.)

10

Slika 5: Google Cardboard

Izvor: https://lh3.googleusercontent.com/MAwTQ5qs2ogQg_NSBQTh3nrG78sMRALh9MGWzvlB5-t63NLtQyI3HBJttOL9Owx5fcE (pristup 31.7.2018.)

Slika 6: primjer proširene stvarnosti

Izvor: <https://www.augment.com/blog/wp-content/uploads/2016/02/Stephanie-Photo1.jpg>
(pristup 31.7.2018.)

11

Slika 7: prve primjene proširene stvarnosti u tvornici kablova

Izvor: <https://cdn.vertebrae.com/2018/06/Tom-Caudell-AR.png> (pristup 31.7.2018.)

13

Slika 8: interakcija s hologramima Microsoft Hololensa

Izvor: <https://cdnassets.hw.net/dims4/GG/a450e00/2147483647/resize/876x%3E/quality/90/?url=https%3A%2F%2Fcdnassets.hw.net%2Ff6%2Ff3%2F7e97e4d043beaa9d818ff0d0f2ec%2Ftech2017-nyc-holo-perkinswill-hero.jpg> (pristup 31.7.2018.)

14

Slika 9: digitalni 3D model stratigrafije hipotetskog lokaliteta iz 1990. godine

Izvor: <http://www.interactivearchaeology.com/wp-content/uploads/2014/10/Paul-Reilly-310x174.jpg> (31.7.2018.)

15

Slika 10: vizualizacija stratigrafskih slojeva u projektu 3D-Digging at Çatalhöyük

Izvor: M. Forte, 3D Archaeology: New Perspectives and Challenges – The Example of Çatalhöyük, Journal of Eastern Mediterranean Archaeology and Heritage Studies, sv. 2, br. 1, 2014., str. 8.

20

Slika 11: primjer prazne, beživotne rekonstrukcije lokaliteta (nalazište Latters u Francuskoj)

Izvor: <https://i.ytimg.com/vi/6oseC0Yuc94/hqdefault.jpg> (pristup 31.7.2018.)

22

- Slika 12:** primjer tipične kontekstualizacije nalaza u muzejima; rimski alati za drvodjelstvo, 1.st.pr.Kr.-1.st., British Museum
Izvor: https://1.bp.blogspot.com/-OUz3z3lwoAM/U9-F0OM1D7I/AAAAAAAAAD48/1iaRO_6D6w/s640/DSCN1442.JPG (pristup 31.7.2018.) 26
- Slika 13:** primjer fizičke kontekstualizacije nalaza u Muzeju vučedolske kulture
Izvor: https://croatia.hr/sites/default/files/styles/image_full_width/public/2018-03/1_muzej-vucedolske-kulture-bojan-haron-markicevic.jpg?itok=KRbpIPP_ (pristup 31.7.2018.) 27
- Slika 14:** primjer informacijskog kioska u muzeju
Izvor: http://saubag.com/en/wp-content/uploads/2013/08/IMG_1477-538x218.jpg (pristup 31.7.2018) 28
- Slika 15:** primjer turističke aplikacije proširene stvarnosti
Izvor: <https://static.thinkmobiles.com/uploads/2017/11/ar-tourism.jpg> (pristup 31.7.2018.) 29
- Slika 16:** prijedlog prezentacije hipotetskog prapovijesnog lokaliteta u proširenoj stvarnosti, projekt Dead Man's Eyes
Izvor: https://i1.wp.com/www.dead-mens-eyes.org/wp-content/uploads/2010/03/leskernick_landscape_no_masks_clipped.jpg (pristup 31.7.2018.) 30
- Slika 17:** Isječak iz izložbe Virtual Ancient Egypt, 1993.
Izvor: <https://vimeo.com/25038124> (pristup 1.8.2018.) 31
- Slika 18:** Isječak iz izložbe Virtual Pompeii, 1996.
Izvor: <https://vimeo.com/25042731> (pristup 1.8.2018.) 32
- Slika 19:** virtualna rekonstrukcija grobnice Sen-nedjem
Izvor: http://intarch.ac.uk/journal/issue7/terras_index.html (pristup 1.8.2018.) 33
- Slika 20:** prezentacija Troia VR na izložbi u Muzeju umjetnosti u Bonnu, 2001.
Izvor: P. Jablonka, S. Kirchner, J. Serangeli, TroiaVR: A Virtual Reality Model of Troy and the Troad, Zbornik radova konferencije Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology, 2002., str. 14. 35
- Slika 21:** ARCHAVE
Izvor: E. Vote, D. A. Feliz, D. H. Laidlaw, M. S. Joukowsky, Discovering Petra: Archaeological Analysis in Virtual Reality, IEEE Computer Graphics and Applications, sv. 22, br. 5, 2002., str. 11. 37
- Slika 22:** korisničko sučelje virtualne rekonstrukcije grobnice Regolini-Galassi
Izvor: E. Pietroni, A. Adami, Interacting with Virtual Reconstructions in Museums: The Etruscanning Project, Journal on Computing and Cultural Heritage (JOCCH) - Special Issue on Interacting with the Past, sv. 7. br. 2., 2014., str. 17. 39
- Slika 23:** testiranje aplikacije virtualne stvarnosti na projektu Mazotos
Izvor: I. Katsouri, A. Tzanavari, K. Herakleous, C. Poullis, Visualizing and Assessing Hypotheses for Marine Archaeology in a VR CAVE Environment, Journal on Computing and Cultural Heritage, sv. 8, br. 2, 2015., str. 12. 41

- Slika 24:** isječak iz virtualne rekonstrukcije iberskog grada Ullastreta
Izvor: http://imatges.elpunt.net/imatges/54/63/alta/780_0008_5463561_2484a1a1d8e7ef7f62e29b4063f43244.jpg (pristup 1.8.2018.) 43
- Slika 25:** virtualna rekonstrukcija hrama Augusta i Rome u Puli, Lithodomos VR
Izvor: <https://pbs.twimg.com/media/DJF4ghBUQAAw6Ri.jpg> (pristup 1.8.2018.) 44
- Slika 26:** isječak iz virtualne rekonstrukcije Varaždinskih toplica
Izvor: <https://i.ytimg.com/vi/yIoH0tKPTYo/maxresdefault.jpg> (pristup 1.8.2018.) 45
- Slika 27:** oprema potrebna za korištenje ARCHEOGUIDE sistema
Izvor: <https://csdl-images.computer.org/mags/cg/2002/05/figures/g50527.gif> (pristup 1.8.2018.) 46
- Slika 28:** animacija pompejskih dama u šetnji, projekt LIFEPLUS Pompeii
Izvor: G. Papagiannakis et. al, Mixing virtual and real scenes in the site of ancient Pompeii, Computer Animation and Virtual Worlds, sv. 16, br. 1, 2005., str. 20. 48
- Slika 29:** virtualna anastiliza statue satira Telamona
Izvor: https://www.researchgate.net/profile/F_Stanco/publication/229067166/figure/fig5/AS:300884115378177@1448747771077/The-augmented-reality-in-the-Museum.png (pristup 1.8.2018.) 50
- Slika 30:** virtualna anastiliza grupe Ahileja i Pentesileje
Izvor: <https://www.youtube.com/watch?v=i0nL8gWblBM> (pristup 1.8.2018.) 51
- Slika 31:** rekonstrukcija Are Pacis u originalnim bojama uz pomoć proširene stvarnosti
Izvor: <https://i.pinimg.com/originals/b5/a6/bb/b5a6bb00c20df5b771cc5c639e370dad.png> (pristup 1.8.2018.) 52
- Slika 32:** virtualna rekonstrukcija Partenona uz pomoć proširene stvarnosti
Izvor: https://scontent-vie1-1.xx.fbcdn.net/v/t1.0-9/12961678_971153949588600_1985445512167341284_n.jpg?_nc_cat=0&oh=46d923183286eba27ce5f60c428f40a5&oe=5BC575F7 (pristup 1.8.2018.) 53
- Slika 33:** virtualna rekonstrukcija sobe prijestolja u Knossosu uz pomoć proširene stvarnosti
Izvor: https://scontent-vie1-1.xx.fbcdn.net/v/t1.0-9/27972913_1615104881860167_4744279370121206436_n.jpg?_nc_cat=0&oh=830a9caf2b3475f5831b6f3cd3d9a33e&oe=5C13D0A6 (pristup 1.8.2018.) 54
- Slika 34:** virtualna rekonstrukcija neolitičkog naselja na lokalitetu Bylany uz pomoć proširene stvarnosti
Izvor: P. Kvetina, J. Unger, P. Vavrečka: Presenting the invisible and unfathomable: Virtual museum and augmented reality of the Neolithic site in Bylany, Czech Republic, Archeologické rozhledy, sv. LXVII, 2015., str. 13. 55
- Slika 35:** rekonstrukcija prapovijesnog lokaliteta Moncreiffe Hill unutar video igre Minecraft
Izvor: <http://www.digitScotland.com/moncrieffe-hill-crafting-the-past/> (pristup 1.8.2018.) 61

Slika 36: prikaz procesa obrade žita u drevnom Egiptu unutar video igre Assassin's Creed: Origins

Izvor: https://ubistatic19-a.akamaihd.net/marketingresource/en-us/images/aco_dt_crowdlife_grainprocessing_int_english_319041_960x540_319497.jpg

(pristup 1.8.2018.)

Error! Bookmark not defined.

11. Popis literature

Avecedo et. al, 2001.

D. Acevedo, M. S. Joukowsky, D. H. Laidlaw, E. Vote, *Archaeological data visualization in VR: analysis of lamp finds at the great temple of Petra, a case study*, Zbornik radova konferencije *IEEE Visualisation*, 2001., str. 493.-496.

Beale, Reilly, 2017.

G. Beale, P. Reilly, *After Virtual Archaeology: Rethinking Archaeological Approaches to the Adoption of Digital Technology*, *Internet Archaeology* 44, 2017. (preuzeto sa: <http://intarch.ac.uk/journal/issue44/1/index.html>)

Beltrame et. al, 2016.

C. Beltrame, L. Lazzarini, S. Parizzi, *The Roman Ship 'punta Scifo d' and its Marble Cargo (Crotone, Italy)*, *Oxford Journal of Archaeology* sv. 35, br. 3, 2016., str. 295.–326.

Bernardini et. al, 2012.

A. Bernardini, L. Constantini, C. Delogu, E. Pallotti, *Living the Past: Augmented Reality and Archaeology*, Zbornik radova konferencije *IEEE Multimedia and Expo Workshops*, 2012., str. 354.-357.

Bilalis, 2000.

N. Bilalis, *Computer Aided Design – CAD*, izvješće projekta *INNOREGIO: dissemination of innovation and knowledge management techniques*, Tehničko sveučilište na Kreti, 2000. (preuzeto sa: http://www.adi.pt/docs/innoregio_cad-en.pdf)

Bitgood, Patterson, 1993.

S. Bitgood, D. Patterson, *The effects of gallery changes on visitor reading and object viewing time*, *Environment and Behavior*, sv. 25, br. 6, 1993., str. 761.-781.

Bitgood, 2000.

S. Bitgood, *The role of attention in designing effective interpretive labels*, Journal of Interpretation Research, sv. 5, br. 2, 2000., str. 31.-45.

Brooks, 1999.

F. P. Brooks, *What's Real About Virtual Reality?*, IEEE Computer Graphics and Applications, sv. 19, br. 6, 1999., str. 16.-27.

Bruno et. al, 2016.

F. Bruno et. al, *Project VISAS: Virtual and Augmented Exploitation of Submerged Archaeological Sites - Overview and First Results*, Marine Technology Society Journal, sv. 50, br. 4, 2016., str. 119.-129.

Bruno et. al, 2017.

Bruno et. al, *Virtual Diving in the Underwater Archaeological Site of Cala Minnola*, International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, sv. XLII-2/W3, 2017., str. 121.-126.

Buzjak, 2017.

D. Buzjak, *Prema imerzivnom projektiranju proizvodnih procesa korištenjem tehnika virtualne stvarnosti: diplomski rad*, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2017.

Cargill, 2009.

R. R. Cargill, *An Argument for Archaeological Reconstruction in Virtual Reality*, Near Eastern Archaeology, sv. 72, br. 1, 2009., str. 28.-41.

Carmigniani et. al, 2011.

J. Carmigniani et. al., *Augmented reality technologies, systems and applications*, Multimedia Tools and Applications, sv. 51, br. 1, 2011., str. 341.-377.

Caudell, Mizell, 1992.

T. P. Caudell, D. W. Mizell, *Augmented Reality: An Application of Heads-Up Display Technology to Manual Manufacturing Processes*, Zbornik Međunarodne konferencije o sistemskim znanostima, sv. 2, 1992., str. 659.-669.

Cetinić, 2010.

E. Cetinić, *Kombinacija stvarnih i virtualnih scena: završni rad*, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb 2010.

Chacos, 2016.

B. Chacos, *Virtual Reality, One year Out: What Went Right, What Didn't*, PCWorld, prosinac 2016., str. 141.-150.

Champion, 2017.

E. M. Champion, *Single White Looter: Have Whip, Will Travel*, u: A. A. A. Mol et. al (ur.) *The Interactive Past: Archaeology, Heritage and Video Games*, Leiden, 2017., str. 107.-122.

Chapman et. al, 2008.

P. Chapman et. al, *Virtual Exploration of Underwater Archaeological Sites: Visualization and Interaction in Mixed Reality Environments*, Zbornik radova konferencije *Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage*, 2008., str. 141.-148.

Demetriou, 2012.

A. Demetriou, *The Mazotos Shipwreck Project in Cyprus*, Potopljena baština – godišnjak Međunarodnog centra za podvodnu arheologiju u Zadru, br. 2, Zadar, 2012., str. 24.-29.

Durand et. al, 2014.

E. Durand, F. Merienne, C. Pere, P. Callet, *Ray-on, an On-Site Photometric Augmented Reality Device*, Journal on Computing and Cultural Heritage (JOCCH) - Special Issue on Interacting with the Past, sv. 7, br. 2, 2014. (preuzeto sa: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01143376/document>)

Dučić, 2011.

P. Dučić, *Kinematički model u okruženju proširene stvarnosti na ugrađenom sustavu: diplomski rad*, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb, 2011.

Egenfeldt-Nielsen, 2006.

S. Egenfeldt-Nielsen, *Overview of Research on the Educational use of Video Games*, Nordic Journal of Digital Literacy, sv. 1, br. 3, 2006., str. 184.-213.

Feiner et. al, 1997.

S. Feiner, B. MacIntyre, T. Höllerer, A. Webster, *A Touring Machine: Prototyping 3D Mobile Augmented Reality Systems for Exploring the Urban Environment*, Zbornik međunarodnog simpozija o nosivim računalima, 1997., str. 74.-81.

Forte, 2014.

M. Forte, *3D Archaeology: New Perspectives and Challenges - The Example of Çatalhöyük*, Journal of Eastern Mediterranean Archaeology and Heritage Studies, sv. 2, br. 1, 2014., str. 1.-29.

Forte et. al, 2016.

M. Forte, N. Dell'Unto, K. Jonsson, N. Lercari, *Interpretation Process at Çatalhöyük using 3D*, u: I. Hodder, A. Marciniak (ur.), *Assembling Çatalhöyük (Themes in Contemporary Archaeology)*, Routledge, 2016. str. 43.-57.

Gabellone, 2014.

F. Gabellone, *The Scientific Transparency in Virtual Archaeology: New Guidelines Proposed by the Seville Charter* u: N. Masini et. al, *Remote Sensing and ICT for Cultural Heritage from European and Chinese perspectives*, CNR, Rim, 2014., str. 77.-111.

Gaitatzes, Christopoulos, Roussou, 2001.

A. Gaitatzes, D. Christopoulos, M. Roussou, *Reviving the past: Cultural Heritage meets Virtual Reality*, Zbornik radova konferencije *Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage*, 2001., str. 103.-110.

González-Tennant, 2016.

E. González-Tennant, *Archaeological Walking Simulators*, The SAA Archaeological Record, sv. 16, br. 5, 2016. str. 23.-28.

Grau, 2003.

O. Grau, *Virtual Art: From Illusion to Immersion*, London, 2003.

Haddad, 2016.

N. A. Haddad, *Multimedia and Cultural Heritage: A Discussion for the Community Involved in Childrens Edutainment and Serious Games in the 21st Century*, Virtual Archaeology Review, sv. 7, br. 14, 2016., str. 61.-73.

Jablonka, Kirchner, Serangeli, 2002.

P. Jablonka, S. Kirchner, J. Serangeli, *TroiaVR: A Virtual Reality Model of Troy and the Troad*, Zbornik radova konferencije *Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology*, 2002., str. 13.-18.

Fernández-Palacios et. al, 2015.

B. J. Fernández-Palacios, F. Nex, A. Rizzi, F. Remondino, *ARCube - The Augmented Reality Cube for Archaeology*, *Archaeometry*, sv. 57., online dodatak S1, 2015., str. 250.-262.

Katsouri et. al, 2015.

I. Katsouri, A. Tzanavari, K. Herakleous, C. Poullis, *Visualizing and Assessing Hypotheses for Marine Archaeology in a VR CAVE Environment*, *Journal on Computing and Cultural Heritage*, sv. 8, br. 2, 2015. (preuzeto sa:

<https://pdfs.semanticscholar.org/0f7b/452e21a2a181562f9dc9176caec75da336f8.pdf>)

Mazuryk, Gervautz, 1996.

T. Mazuryk, M. Gervautz, *Virtual Reality: History, Applications, Technology and Future*, publikacije Instituta za računalnu grafiku i algoritme u Beču, 1996.

McGraw, Reid, Sanders, 2017.

J. McGraw, S. Reid, J. Sanders, *Crafting the Past: Unlocking new audiences*, u: A. A. A. Mol et. al, *The Interactive Past: Archaeology, Heritage and Video Games*, Leiden, 2017., str. 167.-184.

Milgram, Kishino, 1994.

P. Milgram, F. Kishino, *A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays*, *IEICE Transactions on Information Systems – Special Issue on Networked Reality*, sv. E77-D, br. 12, 1994., str. 1321.-1329.

Mol et. al, 2017.

A. A. A. Mol et. al, *Tutorial: An introduction to Archaeology, Heritage and Video Games*, u: A. A. A. Mol et. al (ur.) *The Interactive Past: Archaeology, Heritage and Video Games*, Leiden, 2017., str. 7.-18.

Papagiannakis et. al, 2002.

Papagiannakis et. al, *LIFEPLUS: Revival of life in ancient Pompeii*, Zbornik radova konferencije *Virtual Systems and Multimedia*, 2002. (preuzeto sa: https://www.researchgate.net/publication/37444098_LIFEPLUS_Revival_of_life_in_ancient_Pompeii_Virtual_Systems_and_Multimedia)

Papagiannakis et. al, 2005.

Papagiannakis et. al, *Mixing virtual and real scenes in the site of ancient Pompeii*, *Computer Animation and Virtual Worlds*, sv. 16, br. 1, 2005, str. 11.-24.

Pietroni, Adami, 2014.

E. Pietroni, A. Adami, *Interacting with Virtual Reconstructions in Museums: The Etruscanning Project*, *Journal on Computing and Cultural Heritage (JOCCH) - Special Issue on Interacting with the Past*, sv. 7, br. 2., 2014. (preuzeto sa: https://re.public.polimi.it/retrieve/handle/11311/1026941/212083/33_JOOCH%202014.pdf)

Reffat, Nofal, 2013.

R. M. Reffat, E. M. Nofal, *Effective Communication with Cultural Heritage Using Virtual Technologies*, *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, sv. XL-5/W2, 2013., str. 519.-524.

Reilly, 1991.

P. Reilly, *Towards a Virtual Archaeology*, *Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology 1990*, BAR, Oxford, 1991., str. 133.-140.

Rey, van der Vaart, 2013.

C. A. Rey, M. van der Vaart, *Contextualizing Collections: Using Virtual Reality in Archeology Exhibitions*, *Exhibitionist*, sv. 32, br. 2, 2013., str. 73.-79.

Riley, 2017.

J. Riley, *Understanding Metadata: What is Metadata, and What is it For?: A Primer*, publikacije Nacionalne organizacije za informacijske standarde, 2017. (preuzeto sa: http://www.niso.org/apps/group_public/download.php/17446/Understanding%20Metadata.pdf)

Roussou et. al, 2013.

Roussou et. al, *From personalization to adaptivity. Creating immersive visits through interactive digital storytelling at the Acropolis Museum.*, u: J. A. Botía, D. Charitos (ur.), *Zbornik radova 9. Međunarodne konferencije o inteligentnim okruženjima*, Atena, 2013., str. 541.-554.

Sanders, 2002.

D. H. Sanders, *Virtual Archaeology and Museums: Where are the Exhibits?*, u: N. Franco (ur.), *Virtual Archaeology; proceedings of the VAST Euroconference, Arezzo, 24-25 November, 2000*, BAR, Oxford 2002., str. 187.-194.

Sanders, 2006.

D. H. Sanders, *Why Do Virtual Heritage?*, *Zbornik radova konferencije Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology*, 2006., str. 563.-572.

Sierra et. al, 2017.

A. Sierra, G. de Prado, I. Ruiz Soler, F. Codina, *Virtual reality and archaeological reconstruction: be there, back then*, *Zbornik radova konferencije Museums and the Web*, 2017. (preuzeto sa: <https://mw17.mwconf.org/paper/virtual-reality-and-archaeological-reconstruction-be-there-be-back-then-ullastret3d-and-vr-experience-in-htc-vive-and-immersive-room/>)

Skarlatos et. al, 2016.

Skarlatos et. al, *Project iMARECULTURE: Advanced VR, iMmersive Serious Games and Augmented REality as Tools to Raise Awareness and Access to European Underwater CULTURal heritagE* u: M. Ioannides et al. (ur.), *Progress in Cultural Heritage: Documentation, Preservation, and Protection*, *Zbornik radova konferencije EuroMed 2016.*, str. 805.-813.

Skarlatos et. al, 2017.

Skarlatos et. al, *3D Modelling and Mapping for Virtual Exploration of Underwater Archaeology Assets*, *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, sv. XLII-2/W3, 2017., str. 425.-431.

Stanco et. al, 2012.

F. Stanco, D. Tanasi, M. Buffa, B. Basile, *Augmented Perception of the Past: The Case of the Telamon from the Greek Theater of Syracuse*, Communications in Computer and Information Science, sv. 247., 2012. str. 126.-135.

Stanco et. al, 2017.

F. Stanco et. al, *Virtual anastylosis of Greek sculpture as museum policy for public outreach and cognitive accessibility*, Journal of Electronic Imaging, sv. 26, br. 1, 2017. (preuzeto sa: http://scholarcommons.usf.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1003&context=hty_facpub)

Stipan, 2015.

H. Stipan, *Izrada 3D računalne igre: završni rad*, Sveučilište Sjever, Varaždin, 2015.

Terras, 1999.

M. Terras, *A Virtual Tomb for Kelvingrove: Virtual Reality, Archaeology and Education*, Internet Archaeology 7, 1999. (preuzeto sa: http://intarch.ac.uk/journal/issue7/terras_index.html)

Tsiafaki, Michailidou, 2015.

D. Tsiafaki, N. Michailidou, *Benefits and Problems Through the Application of 3D Technologies in Archaeology*, Scientific Culture, sv. 1, br. 3, 2015., str. 37.-45.

Uildriks, 2016.

M. Uildriks, *iDig - Recording Archaeology: a review*, Internet Archaeology 42, 2016. (preuzeto sa: <http://intarch.ac.uk/journal/issue42/13/uildriks.html>)

Unger, Kvetina, 2017.

J. Unger, P. Kvetina, *An On-Site Presentation of Invisible Prehistoric Landscapes*, Internet Archaeology 43, 2017. (preuzeto sa: <http://intarch.ac.uk/journal/issue43/13/index.html>)

Vadnal, 1995.

J. Vadnal, *Virtual Antiquity*, Archaeology, sv. 48, br. 5, 1995., str. 67.-74.

Vlahakis et. al, 2001.

Vlahakis et. al, *ARCHEOGUIDE: first results of an augmented reality, mobile computing system in cultural heritage sites*, Zbornik radova konferencije *Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage*, VAST 2001., str. 131.-140.

Vlahakis et. al, 2002.

Vlahakis et. al, *ARCHEOGUIDE: an augmented reality guide for archaeological sites*, IEEE Computer Graphics and Applications, sv. 22, br. 5, 2002., str. 52.-60.

Vote et. al, 2002.

E. Vote, D. A. Feliz, D. H. Laidlaw, M. S. Joukowsky, *Discovering Petra: Archaeological Analysis in Virtual Reality*, IEEE Computer Graphics and Applications, sv. 22, br. 5, 2002., str. 38.-50.

Watterson, 2015.

A. Watterson, *Beyond Digital Dwelling: Re-thinking Interpretive Visualisation in Archaeology*, Open Archaeology, sv. 1, br. 1, 2015. str. 119.-130.

Weston, 2012.

D. B. Weston, *Greatest Moments in Video Game History*, Amazon Digital Services LLC, 2012.

Wolfenstetter, 2007.

T. Wolfenstetter, *Applications of augmented reality technology for archaeological purposes*, München, 2007.

Zengerle, 1993.

P. Zengerle, *Virtual Reality Gets Serious: Researchers Find Uses From Car Sales to Egyptology*, San Francisco Examiner – Chronicle, 22. kolovoza 1993. (preuzeto sa: http://studioforcreativeinquiry.org/wp-content/uploads/2010/11/ITeN_article.pdf)

van Krevelen, Poelman, 2010.

D. W. F. van Krevelen i R. Poelman, *A Survey of Augmented Reality Technologies, Applications and Limitations*, The International Journal of Virtual Reality, sv. 9, br. 2, 2010., str. 1.-20.

Povelje i dokumenti

The London Charter for the Computer-based Visualisation of Cultural Heritage, verzija 2.1., 2009. (preuzeto sa: <http://www.londoncharter.org/>)

The Seville Principles: International Principles of Virtual Archaeology, Međunarodni forum za virtualnu arheologiju, 2011., (preuzeto sa: <http://smartheritage.com/seville-principles/seville-principles>)

International Charter for the Conservation and Restoration of Monuments and Sites (The Venice Charter 1964), Međunarodni kongres arhitekata i tehničara povijesnih spomenika, Venecija, 1964. (preuzeto sa: https://www.icomos.org/charters/venice_e.pdf)

Entertainment Software Association, *2017 Sales, Demographic and Usage Data: Essential Facts About the Computer and Video Game Industry*, 2017. (preuzeto sa: http://www.theesa.com/wp-content/uploads/2017/04/EF2017_FinalDigital.pdf)

Elektronički izvori

Forbes Technology Council, 2016.

Forbes Technology Council, *Seven Non-Gaming Applications For Virtual Reality*, Forbes.com, 2016.: <https://www.forbes.com/sites/forbestechcouncil/2016/09/28/seven-non-gaming-applications-for-virtual-reality/#f4840a92c967> (pristup 23.9.2017.)

Godwin, 2017.

N. Godwin, *What Are Mixed Reality, Virtual Reality and Augmented Reality?*, maketecheasier.com, 2017. <https://www.maketecheasier.com/mixed-reality-virtual-reality-augmented-reality/> (pristup 16.9.2017.)

Poznanski, 2014.

A. Poznanski, *Visual Revolution of the Vanishing of Ethan Carter*, theastronauts.com, 2014., <http://www.theastronauts.com/2014/03/visual-revolution-vanishing-ethan-carter/> (pristup 27.10.2017.)

Ravlić, 2017.

S. Ravlić (ur.), *Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje*, Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2017.: <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=64795> (pristup 13.9.2017.)

Strickland, 2007.

J. Strickland, *How Virtual Reality Gear Works*, HowStuffWorks.com, 2007.: <http://electronics.howstuffworks.com/gadgets/other-gadgets/VR-gear2.htm> (pristup 16.9.2017.)

Weinbaum, 2006.

S. G. Weinbaum, *Pygmalion's Spectacles*, Project Gutenberg, 2006.: <http://gutenberg.net.au/ebooks06/0607251h.html> (pristup 13.9.2017.)

Wolverton, 2016.

T. Wolverton, *Review: Microsoft's HoloLens offers glimpse of holographic future*, San Jose Mercury News, 2016.: <https://phys.org/news/2016-04-microsoft-hololens-glimpse-holographic-future.html> (pristup 29.10.2017.)

https://developer.microsoft.com/en-us/windows/mixed-reality/mixed_reality (pristup 17.9.2017.)

<https://developer.microsoft.com/en-us/windows/mixed-reality/hologram> (pristup 17.9.2017.)

<https://www.microsoft.com/en-us/hololens> (pristup 17.9.2017.)

<https://www.wired.com/2016/04/magic-leap-vr/> (pristup 17.9.2017.)

<http://www.metavision.com/> (pristup 17.9.2017.)

<https://www.youtube.com/watch?v=OKVRTNFLHjU> (pristup 19.9.2017.)

<https://researchguides.library.wisc.edu/GIS> (pristup 20.9.2017.)

<http://culturalheritageimaging.org/Technologies/RTI/> (pristup 20.9.2017.)

<http://studioforcreativeinquiry.org/projects/the-networked-virtual-art-museum> (pristup 25.9.2017.)

<http://www.fhw.gr/fhw/index.php?lg=2&state=pages&id=82> (pristup 26.9.2017.)

<http://colosseumlives.com/> (pristup 2.10.2017.)

<http://vrmonkey.com.br/projects/7vrwonders/> (pristup 2.10.2017.)

<https://lithodomosvr.com/about-us/> (pristup 3.10.2017.)

<https://lithodomosvr.com/content-library/> (pristup 3.10.2017.)

<http://www.thedubrovniktimes.com/news/croatia/item/3069-virtual-reality-brings-croatian-city-to-life> (pristup 3.10.2017.)

<http://amz.hr/naslovnica/virtualna-setnja/povremene-izlozbe/2016/aquae-iasae.aspx> (pristup 4.10.2017.)

<https://www.legame.hr/portfolio/arheoloski-muzej/> (pristup 4.10.2017.)

<http://www.culex.hr/projekti/vucedol-muzej-360/> (pristup 4.10.2017.)

<http://www.zagreb.info/zg-vodic/muzeji/dani-vucedola-u-zagrebu-arheoloski-muzej-vas-ceka/110258> (pristup 4.10.2017.)

<http://www.chessexperience.eu/> (pristup 9.10.2017.)

<https://www.youtube.com/watch?v=i0nL8gWblBM> (pristup 10.10.2017.)

http://www.ville-ge.ch/musinfo/bd/mah/collections/detail.php?type_search=simple&lang=fr&criteria=achille&terms=all&pos=2&id=31746 (pristup 10.10.2017.)

<http://www.mint.hr/default.aspx?ID=11724> (pristup 12.10.2017.)

<http://www.index.hr/black/clanak/virtualni-juraj-dalatinac-iz-sibenika-proglasen-najboljom-svjetskom-inovacijom-u-turizmu/723559.aspx> (pristup 12.10.2017.)

<http://www.momentum-studio.com/augmented-reality-juraj-dalatinac-virtual-guide/> (pristup 12.10.2017.)

http://www.arapacis.it/l_ara_com_era/progetto (pristup 12.10.2017.)

<http://moptil.com/sites/> (pristup 13.10.2017.)

<http://www.npkrka.hr/clanci/Valorizacija-Amfiteatra-Burnum/328/en.html> (pristup 14.10.2017.)

<https://www.civilization.com/> (pristup 23.10.2017.)

<https://assassinscreed.ubisoft.com/game/en-us/games/index.aspx> (pristup 23.10.2017.)

<http://www.digit2017.com/> (pristup 26.10.2017.)

<https://www.immersiveminds.com/> (pristup 26.10.2017.)

<https://minecraft.net/en-us/?ref=m> (pristup 26.10.2017.)

<https://education.minecraft.net/how-it-works/what-is-minecraft/> (pristup 26.10.2017.)

<http://www.amz.hr/naslovnica/virtualna-setnja/povremene-izlozbe/2014/darovi-zemlje.aspx> (pristup 13.11.2017.)

<https://www.aurasma.com/> (pristup 13.11.2017.)